Université de Bourgogne

&

Faculté des sciences du sport de Dijon

Master Entraînement, Management et Ingénierie du Sport

Mémoire en Entraînement :
Analyse biomécanique et cinématique du tir au handball pour l'amélioration de la performance

Sous la direction de Mr. PAIZIS Christos
Et Mr. DUCLOS Frédéric

Présenté par

Vincent VANDELLE

Session 2013/2014









Je tiens à remercier Monsieur PAIZIS Christos, professeur de l'UFR STAPS de Dijon et Monsieur DUCLOS Frédéric, responsable du centre de ressources et d'expertise du CREPS de Bourgogne pour leur aide et le temps qu'ils ont pu consacrer à l'étude ainsi qu'à l'ensemble du laboratoire INSERM "Cognition, action, et plasticité sensorimotrice" en particulier à Monsieur Yves BALLAY pour sa patience et son aide, et enfin aux joueuses du Cercle Dijon Bourgogne pour leur collaboration à l'expérience.

Sommaire :

I- Introduction

Le handball est une discipline sportive qui connaît un accroissement de sa popularité ces dernières années en France par la réussite de ses équipes nationales et qui se développe à travers les clubs du pays. Etant un sport jeune, le handball est encore émergent dans le domaine de la recherche scientifique hormis dans les pays scandinaves. C'est sûrement la raison pour laquelle il n'est pas encore beaucoup reconnu dans les pays anglo-saxons. Les aspects énergétiques restent un des facteurs de la performance les plus abordés (Mikkelsen et coll., 1976). Bien que pertinentes pour la performance dans le jeu de handball, les études psychologiques et sociologiques restent peu nombreuses (Sosa et coll., Kajtna et coll., Marczinka, 2011).

Pour réaliser une analyse rapide de l'activité, le but principal est de marquer le plus de buts que l'adversaire dans un temps limité à deux fois 30 minutes. Ainsi, entraîneur et préparateur s'attardent à améliorer le geste dans un but de performance. Ils sont donc chercheurs du geste parfait. Pour autant, le tir de handball est dépendant d'un grand nombre de facteurs qui conditionnent la réussite. Prenons un exemple opposé à celui du tir de handball. Le tir de lancer franc au basket se réalise dans une situation totalement fermée : le tireur est au même endroit, à la même distance, sans contrainte de temps et de l'adversaire. Les seuls variables sont psychologiques et gestuelles. A l'inverse, pour le tir de handball, le joueur se retrouve dans une situation ouverte où la course d'impulsion, le positionnement et le déplacement du gardien et des défenseurs, leur condition physique et leur niveau de pratique sont acteurs de la nature du tir (position du bras, vitesse…) et de sa réussite. Ainsi, nous pouvons distinguer les habiletés fermées définies comme étant celles où la technique joue le rôle principal en référence à un pattern de mouvements dans un environnement relativement stable (lancer de javelot) ; et les habiletés ouvertes comme étant celles réalisées dans un environnement incertain qui oblige le sujet à traiter une grande variété d'informations et de situations (tir de handball, passes au football américain…). Autrement dit, d'après Knapp (1963), l'habileté ouverte se déroule dans un milieu susceptible de transformations où le geste doit s'adapter au contexte tandis que l'habileté fermée est mise en jeu dans un milieu stable, où le geste peut être programmé et exécuté sans subir de modifications importantes en cours de réalisation.

Malgré les logiques d'apprentissage du geste enseignées par les entraîneurs, ce dernier reste encore mal connu de l'ensemble des acteurs de la discipline. Pour notre étude, nous nous intéresserons aux tirs de loin réalisés par la base arrière bien que les tirs de près

(ailiers et pivots) restent importants pour l'activité. Le tir de handball fait partie de la famille des mouvements sportifs appelée : lancer à bras cassé. D'après Atwater (1973), cette famille est, après la course, la plus couramment retrouvée dans les disciplines sportives. Le lancer à bras cassé se réalise à une main et lorsque celle-ci passe au-dessus de la ligne des épaules. Ainsi, on y retrouve les lancers de javelot, de quarterback, de baseball…, tous présentant des points communs et des caractéristiques spécifiques. Le peu d'études réalisées sur le lancer de handball ne permet pas de caractériser le mouvement dans son ensemble.

Nous pouvons émettre l'hypothèse que le défenseur et le gardien de but adverse influencent grandement le comportement et l'organisation segmentaire de l'attaquant au moment de son tir. De plus, il existe des erreurs dans la mise en action des différentes chaînes segmentaires chez les sujets en formation qui sont néfastes à la performance et au principe de précision et d'efficacité. Dans un autre registre, nous pouvons émettre l'hypothèse que des variations existent dans l'organisation segmentaire selon la vitesse de lancer de balle : plus l'athlète essaie d'être précis et plus une organisation proximo-distale se met en place.

Le but de cette étude est donc de repérer ses erreurs, les analyser, comprendre pourquoi elles existent et trouver des réponses à ces problèmes. De même nous chercherons à comprendre les différences d'organisation segmentaire entre les athlètes selon des variables stables définies au préalable.

II- Cadre théorique

Pour comprendre et analyser le tir de handball, nous nous intéresserons dans un premier temps à l'anatomie générale du membre supérieur puis aux analyses cinématiques et biomécaniques réalisées sur les lancers à bras cassé pour enfin spécifier et recentrer les études réalisées dans la discipline du handball.

La description anatomique du mouvement est essentielle pour comprendre la biomécanique. Le membre supérieur est composé de différents groupes d'os regroupés en éléments. On y retrouve alors l'épaule composé de la clavicule est de l'omoplate (la scapula), le bras composé de l'humérus, le coude étant l'articulation du bras et de l'avant-bras, l'avant-bras composé du radius et du cubitus (ulna), le poignet correspondant aux os du carpe et la main contenant des os métacarpiens et des phalanges. Tous ces éléments osseux s'articulent entre eux pour permettre de réaliser les lancers à bras cassé.

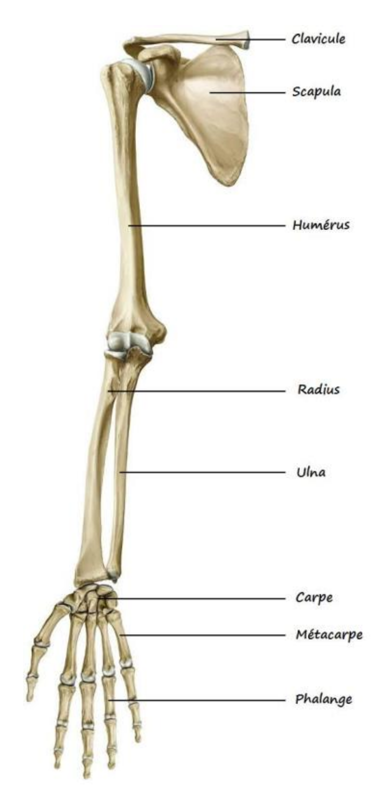


Figure 1: Vue antérieure du membre supérieur

Pour cela, une coordination intermusculaire est nécessaire pour la réalisation du geste. En ce qui concerne l'épaule, il s'agit de l'articulation proximale du membre supérieur. Elle possède trois axes de liberté ce qui lui permet d'orienter le membre supérieur dans les trois plans et fait d'elle l'articulation la plus mobile du corps humain. Nous distinguons trois grands groupes de muscles regroupés selon leur origine et leur insertion. Le premier rassemble les muscles qui ont leur origine sur l'omoplate et qui s'attachent sur l'humérus : le sus-épineux qui soulève le bras vers l'extérieur (abduction), le grand rond qui tire le bras vers le corps et fait tourner le bras vers l'intérieur, le sous-épineux et le petit rond qui attirent le bras en dedans et lui font réaliser une rotation externe et le sous-scapulaire qui permet au bras de faire des rotations internes.

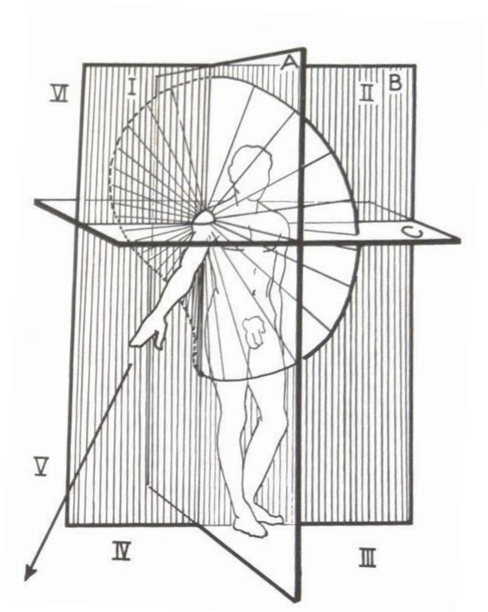
Le second groupe rassemble les muscles qui trouvent leur origine sur la colonne vertébrale et leur insertion sur l'omoplate. Ils ont pour rôle de mouvoir la scapula de manière à ce que le bras ait la meilleure position d'exécution pour un geste optimal. Ainsi nous y retrouvons l'angulaire de l'omoplate et le rhomboïde qui élèvent l'omoplate et lui induisent une rotation interne, le trapèze qui induit à l'omoplate un mouvement d'adduction.

Enfin le troisième groupe rassemble les muscles qui ont leur origine sur le tronc et leur terminaison sur le bras. Ils assurent ainsi la force et la mobilité du membre supérieur. Il s'agît donc du grand pectoral qui attire le bras vers l'intérieur, permet la rotation interne du bras mais aussi d'abaisser le bras quand celui-ci est en position haute et de l'élever quand celui-ci est en position basse. Nous y retrouvons également le deltoïde qui, du fait de son insertion, se retrouve dans tous les mouvements du bras avec néanmoins une importance dans l'élévation du bras tendu vers le haut et vers l'extérieur. Le grand dorsal fait aussi parti de ce groupe où il attire le bras derrière le dos. Enfin le grand dentelé permet la fixation de l'omoplate.

En ce qui concerne l'articulation du coude, les mouvements se réalisent par le biais de trois articulations (humérus-radius, humérus-cubitus et radius-cubitus). Le mouvement le plus important réalisé avec le coude est la flexion/extension de celui-ci. Pour la flexion, nous pouvons distinguer trois grands muscles : le biceps brachial, le brachial antérieur et le long supinateur. En ce qui concerne l'extension, le triceps brachial est utilisé.

Enfin en ce qui concerne les mouvements réalisés au niveau de l'articulation du poignet et de la main, nous y retrouvons principalement le muscle extenseur des doigts, du carpe, les adducteurs et fléchisseurs du poignet, le grand palmaire et le fléchisseur des doigts.

D'un point de vue biomécanique, comme dit précédemment, l'articulation de l'épaule possède trois axes de liberté. Lorsque le bras réalise une rotation, Kapandji et coll. (2011) parlent de mouvement de circumduction au niveau du bras. Le mouvement de circumduction combine alors les mouvements élémentaires situés autour des trois plans (sagittal [plan A], frontal [plan B] et transversal [plan C]). Lorsque l'amplitude de cette circumduction est poussée à son maximale (bras le plus vertical possible), nous constatons que le bras réalise un cône irrégulier avec comme sommet l'épaule (voir figure 2). Cette irrégularité est due à l'anatomie du corps humain où la scapula empêche le retour du bras de l'espace arrière vers l'avant en passant par le haut. Le bras est obligé de sortir de l'axe vertical pour pouvoir remonter. La verticalité du bras



<u>Figure 2:</u> Mouvement de circumduction du membre supérieur

durant ce mouvement ne se retrouve qu'au moment où le bras repasse devant la ceinture scapulaire. Même si les lancers à bras cassé se réalisent le coude légèrement fléchi, cette circumduction irrégulière est toujours en rigueur. Le mouvement est donc acteur dans les trois plans. Il se distingue par exemple de la course de 100m en ligne droite où la jambe n'agît que dans le plan sagittal et frontal (les axes sagittal et vertical). Les mouvements obtenus dans le plan transversal (axe horizontal) sont parasites à la performance de course. C'est pourquoi l'étude du lancer à bras cassé ne doit pas se réduire à un ou deux plans mais bien à une étude tridimensionnelle.

Allard et Blanchi (1996) ont mis en évidence quelques définitions pour expliquer le mouvement articulaire selon les plans anatomiques. Les termes de flexion et d'extension sont réservés aux mouvements effectués dans le plan sagittal, la flexion diminuant l'angle entre deux segments et l'extension faisant l'inverse. L'adduction correspond à un rapprochement du bras vers le corps et l'abduction à un éloignement. Ces mouvements se réalisent dans le plan frontal. Enfin pour la main, on parle de mouvement en supination (paume de la main visible : rotation externe) ou à l'inverse en pronation (rotation interne). La circumduction est donc un mouvement de rotation de l'extrémité d'un segment comprenant les mouvements de flexion, extension, adduction et abduction. Le tableau qui suit donne les amplitudes articulaires maximales pour les articulations du membre supérieur.

Articulation	Mouvement	Amplitude (degré)	Articulation	Mouvement	Amplitude (degré)
Epaule	Flexion	180	**Articulation sterno-claviculaire**	Circumduction	
	Extension	60		Elévation	
	Abduction	180		Dépression	
	Adduction	75		Antépulsion	
	Rotation externe	70		Rétropulsion	
	Rotation interne	90	**Coude**	Flexion	150
Poignet	Flexion	80		Neutre	0
	Extension	70		Hyper extension	10
	Adduction	20		Pronation	80
	Abduction	30		Supination	80

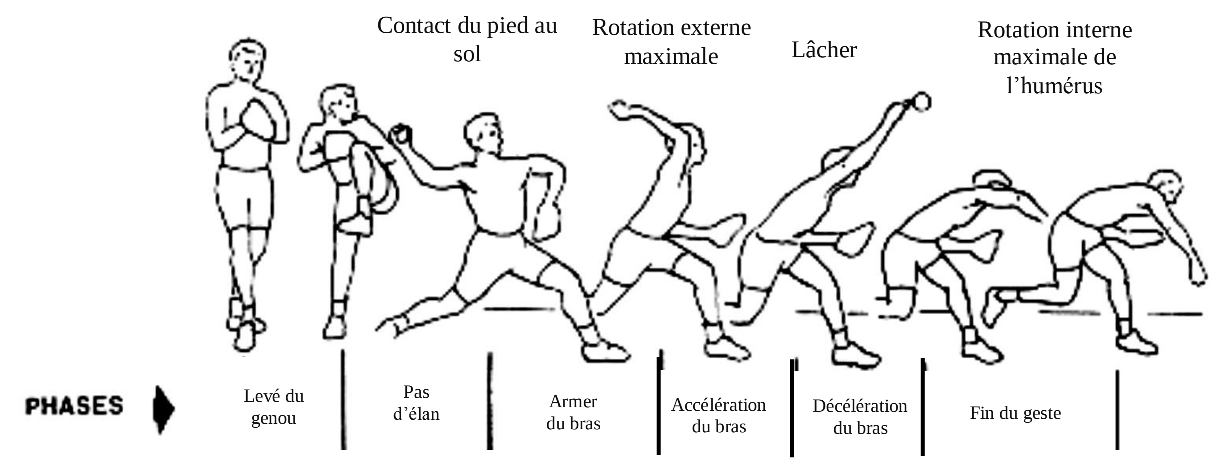
Figure 3: Amplitude articulaire selon l'American Academy of Orthopaedic Surgeons (1965)

En biomécanique, le mouvement peut être de deux natures différentes. Le mouvement linéaire se caractérise comme étant le mouvement effectué en ligne droite entre deux points. A l'inverse, le mouvement angulaire se caractérise comme un déplacement curviligne. Ainsi, sous cette notion de mouvance, ces deux types de mouvement sont caractérisés par une vitesse et une accélération exprimées en mètre ou radian par seconde ($m.s^{-1}$ ou $rad.s^{-1}$) et en mètre ou radian par seconde carrée ($m.s^{-2}$ ou $rad.s^{-2}$) respectivement. Ceux-ci caractérisent les mouvements segmentaires et articulaires du corps humain. Trois principes fondamentaux se retrouvent liés aux mouvements segmentaires selon Allard (1996), le premier étant la distribution des masses segmentaires. Ce principe énonce que les segments les plus lourds (cuisses, bras) sont plus près de l'axe du tronc que les segments légers (pieds, mains). Le second principe prend en compte l'ordre d'intervention segmentaire dans le mouvement qui découle du premier principe. C'est-à-dire que lors du mouvement, l'humain va solliciter les segments les plus lourds, les plus proches du tronc en premier pour bien effectuer le mouvement. Ainsi, pour lancer une balle de handball, nous allons d'abord utiliser le tronc puis le bras puis l'avant-bras pour finir avec la main. Selon ces deux principes, nous pouvons en déduire que les segments les plus proches du tronc vont atteindre leur vitesse maximale plus rapidement que les segments plus éloignés. Le dernier principe mis en évidence correspond à la sommation des vitesses linéaires des articulations. En respectant le dernier principe cité, chaque fois qu'un segment est recruté, il augmente la distance entre le point de rotation (l'épaule) et l'engin (la balle) et donc la vitesse de ce dernier. Prenons l'exemple d'une boule attachée à un point fixe par une corde de 20 centimètres et une autre corde de 25 centimètres. Pour réaliser un déplacement d'un angle de 90° avec un temps égal dans les deux cas, la boule attachée à la corde la plus longue devra aller plus vite que l'autre. Ainsi, le troisième principe explique que la vitesse linéaire d'un engin est égale à la somme des vitesses linéaires aux articulations donc aux segments. Nous pouvons donc en déduire selon les principes 2 et 3 que la vitesse des segments est de plus en plus rapide lorsque l'on s'éloigne du point de rotation. Par exemple, la vitesse de la main sera plus importante que celle de l'avant-bras et de celle du bras.

En ce qui concerne les lancers à bras cassé, la notion d'efficacité reste primordiale pour juger le mouvement comme optimal. Ainsi, l'analyse de ces lancers nécessite la mise en place de protocole parfois éloignés des conditions de terrain, notamment dans des situations comme celles où le lanceur est confronté à un adversaire. C'est pourquoi, des études se sont intéressées à la vitesse de balle comme seul critère de performance (lancer

au baseball d'Escamilla et coll., 2001) et d'autres études, notamment au handball, se sont intéressées à la vitesse gestuelle (Delamarche, 1988), sur la précision du tir (Tillaar et Ettemaa, 2000) ou encore la vitesse de la balle (Fradet, 2003). Malgré ces différences entre les lancers à bras cassé, nous y distinguons quatre phases principales : la phase d'élan, la phase d'armer du bras, la phase de tir et la phase de décélération du bras (post-lancer).

La phase d'élan permet de placer le corps dans une position favorable pour exécuter le lancer (quelques pas au handball, élévation du centre de gravité au water-polo…). La phase d'armer consiste à placer le bras vers l'arrière du tireur. La phase de tir permet de projeter l'objet vers l'avant du tireur. Delamarche (1988) parle alors de balancer arrière pour la phase d'armer et de balancer avant pour la phase de tir. L'instant séparant ces deux phases est caractérisé comme étant l'instant où l'objet est le plus en retrait par rapport à l'épaule ou comme l'instant où la rotation externe maximale de l'humérus est atteinte (Fleisig et coll., 1996).



<u>Figure 4:</u> phases définies pour le lancer au baseball, d'après Fleisig et coll. (1996).

L'étude portée par Fradet (2003) a pour objectif de procéder à une étude complète du tir de handball en appui qui permet de préciser les spécificité cinématiques et dynamiques de ce geste par rapport aux autres lancers à bras cassé. L'étude comprennait trois groupes masculins de niveau différent : sept joueurs en sport étude (SSE), six joueurs en équipe de France espoirs (FE) et sept joueurs évoluant en élite française (D1). Les sujets devaient réaliser un série de quatre tirs en appui, réalisés sans gardien et sans opposition. Le tir se réalise après réception d'une passe, à une distance de 9 mètres et dans une cible au milieu du but de 50 cm sur 50 cm. Grâce à un système vidéo et de capteurs placés sur les membres du sujet, les vitesses linéaires des segments, les angles au niveau du bras tireur et du

tronc, les vitesses angulaires et les contributions des rotations à la vitesse de la balle ont été mesurées. Les résultats ont montré que la vitesse de balle est sensiblement plus importante pour le groupe France Espoirs (26.8 ± 1.4 $m.s^{-1}$) que pour le groupe élite (24.2 ± 2.2 $m.s^{-1}$) que pour le groupe Sports études (22.0 ± 2.0 $m.s^{-1}$). La vitesse gestuelle a été évalué plus longue pour le groupe FE (1.17 ± 0.07 s) que pour le groupe SSE (0.83 ± 0.07 s) et que pour le groupe D1 (0.82 ± 0.12 s). En ce qui concerne la vitesse linéaire des segments, il s'avère que l'étude a montré que l'enchaînement segmentaire ne se traduit pas par une succession de pics de vitesse linéaire des articulations proximales à distales : le pic de vitesse linéaire du coude apparaît avant celui de l'épaule comme montré sur la figure 5. Quel que soit le groupe, le pic de vitesse linéaire de l'épaule se réalise -0.04 ± 0.01 s avant le lâcher de la balle, celui du coude -0.06 ± 0.02 s. Pour la vitesse linéaire du poignet, elle est plus rapide pour le groupe SSE (-0.01 ± 0.01 s) que pour le groupe D1 (-0.03 s), étant le groupe le plus lent.

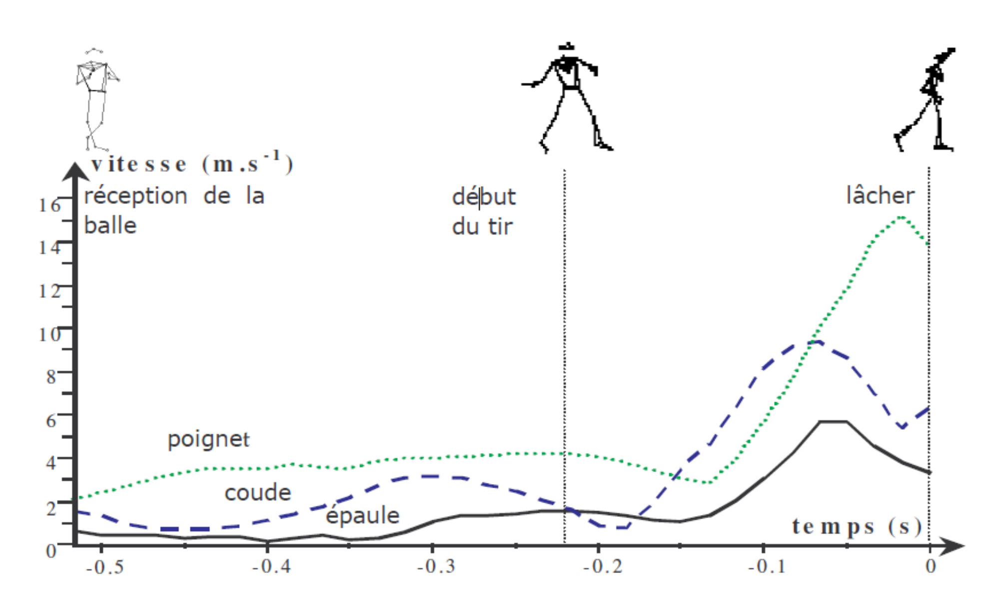


Figure 5: Pics de vitesse linéaire du poignet, du coude et de l'épaule selon Fradet (2003)

L'étude a aussi mis en évidence l'importance des rotations accumulées par le corps et transmises à la vitesse de balle. Ainsi, Fradet explique que la rotation interne des épaules contribue entre 8 et 11% à la vitesse de balle. En ce qui concerne les rotations du membre supérieur, la main et les doigts contribuent à environ 30% à la vitesse de la balle tandis que la contribution de la rotation interne de l'humérus est de l'ordre de 10-12%. Et celle de l'extension de l'avant-bras de 6%. La vitesse du centre de gravité (vitesse de course),

la flexion du tronc et l'adduction horizontale contribuent chacun à moins de 5% à la vitesse de la balle.

Toujours dans la même étude, Fradet a mis en évidence l'existence de corrélations entre les différents segments du corps. Ainsi, l'abduction maximale du bras favoriserait l'extension de l'avant-bras. Le dilemme entre la position du bras étendu et d'adduction horizontale amène au compromis que d'avoir un bras légèrement fléchi au début de l'adduction horizontale puis de l'étendre une fois l'adduction horizontale est amorcée.

En conclusion, Fradet énonce que le tir de handball présente des spécificités telles que l'ordre de succession des pics de vitesse linéaire des articulations et une moindre rotation externe maximale et un pic de vitesse angulaire de l'adduction horizontale prématurée. Pour autant, l'adduction du bras ne permet pas d'amplifier la rotation externe de l'humérus. Toutes ces choses peuvent être dues à la masse, la taille et la forme de l'objet qui induise une organisation segmentaire différente d'une activité à l'autre comme l'énonce Van den Tillaar (2005).

Ce dernier auteur avec l'aide de Ettema (2007) a réalisé une analyse tri-dimensionnelle du tir en appui chez les handballeurs norvégiens de haut-niveau. Onze joueurs ont donc réalisé des tirs en situation de pénalty (distance de sept mètres de la cage, à l'arrêt et en appui). Ils devaient atteindre une cible carré de 0.5 m sur 0.5 m située au centre de la cage. La consigne était de tir le plus fort possible tout en gardant le pied avant au contact du sol. Les mesures sont réalisées par un système de capture d'image 3D pour déterminer les vitesses des différentes articulations et segments. Les résultats nous montrent une organisation similaires à celle trouvée par Fleisig pour le lancer au baseball (voir figure 4). Ils définissent alors trois grandes phases du geste : la préparation ou l'armer du bras, l'accélération et la décélération du bras. Lors de ce geste spécifique, les auteurs démontrent qu'il existe plusieurs corrélations entre les vitesses segmentaires et la vitesse de balle. La première de ces corrélations est la relation entre la vitesse de rotation interne de l'épaule et la vitesse de balle. Plus la rotation est rapide et plus la balle est lancée à une grande vitesse. La seconde relation se situe entre l'angle de flexion du coude et la vitesse de balle. Au lâcher de celle-ci, les auteurs énoncent que plus il y a d'angle de flexion au niveau du coude et moins la balle partira vite. Enfin, nous pouvons constater que plus le temps de rotation maximale du bassin est éloigné du lâcher de la balle et plus la vitesse de balle est grande. Ceci peut être expliquer

par le fait que les muscles abdominaux sont étirés plus tôt et de manière plus importante pendant le mouvement et peuvent donc accumuler plus de tensions au départ du mouvement, transférées dans le geste. Ainsi, à l'arrêt, la rotation de l'épaule, la flexion du coude et l'angulation importante du bassin sont les principales caractéristiques de vitesse de la balle (73%) selon Tillaar et Etema (2007).

Ces mêmes auteurs ont mis en évidence en 2004 une relation force-vitesse lors des lancers à bras cassé et plus particulièrement lors des lancers au handball. Avec le même protocole que précédement (matériels et méthodes…), sept handballeurs norvégiens devaient réaliser des tirs à l'arrêt, le plus fort possible sur une cible distante de sept mètres avec des balles allant de 0.2 à 0.8 kg. Ainsi, une corrélation négative a été obervé entre la force et la vitesse de balle et entre le poids et la vitesse de la balle. De plus, avec l'augmentation du poids de la balle, le temps du mouvement de lancer total a été augmenté. Pour autant, aucun changement significatif de synchronisation des différentes articulations n'a été décelé. Ainsi, la coordination segmentaire des sujets ne varie pas avec le changement de poids de l'objet. L'étude montre de même que 67% de la vitesse de la balle est dues à la somme des vitesses d'extension du coude et de la rotation interne de l'épaule.

Selon l'étude de ces deux auteurs, le mouvement du coude et de l'épaule sont deux importants contributeurs à la vitesse de balle au moment du lâcher.

Ensuite, dans leur étude, Wagner et coll. (2011) ont mis en évidence les différentes stratégies d'accélération du bassin et du tronc mises en place par les joueurs de handball selon la nature du tir et la vitesse de balle. Pour cela, 24 sujets masculins ont été regroupé selon leur niveau d'expertise au handball : le premier groupe comprenait 8 hommes débutants ; le second, 8 hommes de niveau régional et le dernier, 8 hommes de niveau élite du championnat autrichien. Le but pour chaque groupe était de réaliser aléatoirement dix tirs de handball en appui et dix tirs avec élan et en sautant avec lancer du bras préférentiel sur une cible placée à 8 mètres et d'une taille de 1m sur 1m. Pour éviter l'accumulation de fatigue, les essais sont séparés d'une minute. Les mesures se réalisent alors à l'aide de huit caméras du système de capture du mouvement "Vicon MX13" (250 Hertz) et de marqueurs placés sur l'ensemble du corps permettant ainsi de calculer les différents angles aux articulations. Ainsi, Wagner dissocie trois phases durant le geste de lancer au handball, étant les mêmes que pour Tillar et Ettema (2007) : deux avant le lâcher de la balle (phase de préparation et phase

d'accélération du bras) et une après (le post-lâcher). La phase de préparation du bras commence dès le début du geste (400 ms avant le lâcher) et dure jusqu'à l'accélération du bras. La phase d'accélération, quant à elle, commence au moment où l'accélération angulaire de rotation du tronc est maximale jusqu'au lâcher. Enfin la dernière phase se limite à la fin du geste (100 ms). Le geste dure donc pour eux près de 500 millisecondes. Les résultats suivent la logique que Tillar et Ettema (2009) avaient trouvé : la vitesse de balle est induite par la succession de vitesses proximales à distales. La rotation du bassin est suivie de la rotation du tronc qui induit une vitesse de la rotation interne de l'épaule quel que soit le groupe étudié. Les différences perçues d'un groupe à l'autre peuvent s'expliquer par l'utilisation des vitesses angulaires de rotation maximales. Les sujets du groupe élite ont de plus grandes vitesses dans la rotation de son tronc donc de la rotation interne de son épaule et étendent leur coude plus rapidement que les sujets du groupe débutant. Les différences obtenues entre les deux types de sauts montrent que l'élan induit une vitesse plus grande dans le jet de la balle grâce à un meilleur transfert proximal à distal. La jambe d'appui lors du saut renforce le corps et particulièrement le bassin, le tronc et le bras lanceur. Avec l'élan, le bassin et le tronc tournent plus lors de la première phase et induit une vitesse angulaire plus importante dans la phase d'accélération. Tout ceci se retrouve dans la figure 6.

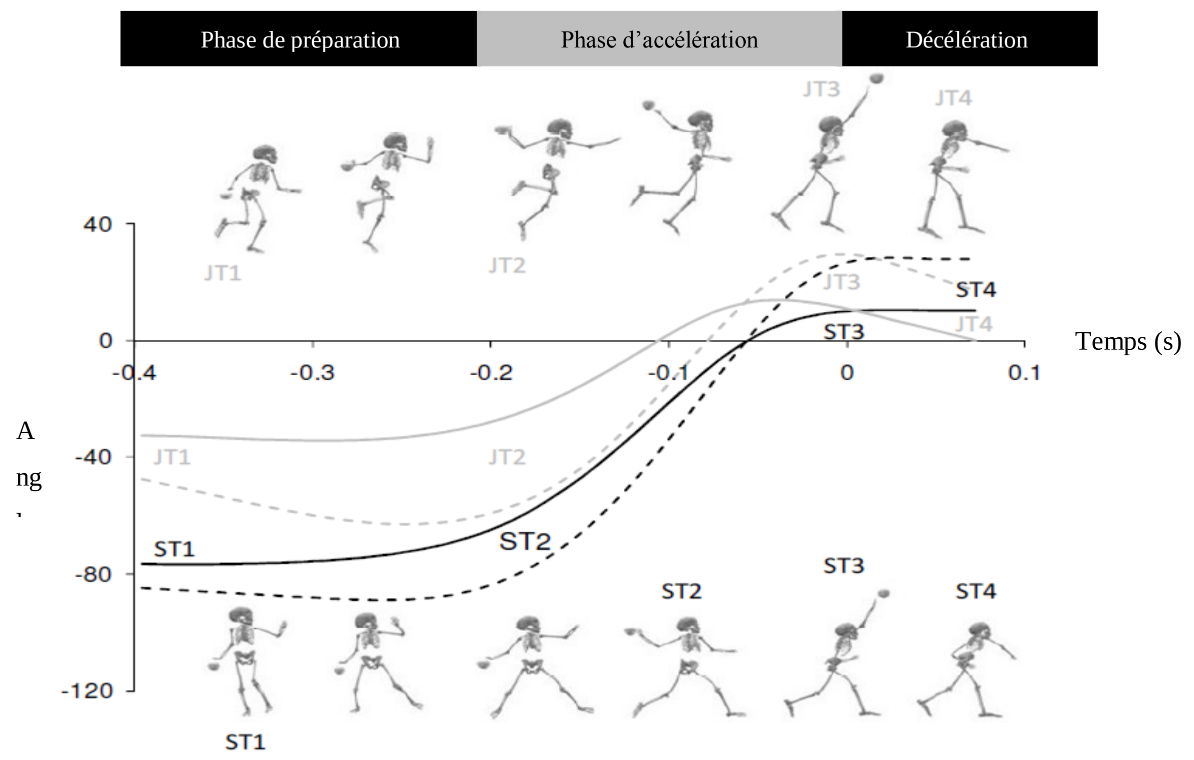


Figure 6: **Angles moyens de rotation du bassin (ligne continue) et du tronc (ligne pointillée) lors du tir en appui (lignes noires) et du tir en extension (lignes grises) selon Wagner et coll. (2011)**

Ainsi, l'étude présentée explique qu'il existe bien des différences de vitesses balle selon le tir réalisé mais pas dans l'organisation segmentaire du geste. Cette différence de vitesse s'explique par un meilleur transfert des vitesses induites par l'impulsion réalisée. Ainsi, les entraîneurs doivent s'attarder sur les rotations du bassin et du tronc lors des différents tirs pour que les athlètes produisent différentes stratégies d'organisation lors du tir.

L'étude de Manchado et coll. (2011) décrit la vitesse de balle selon les différents postes joués chez des handballeuses de niveau élite. Pour cela, 130 joueuses évoluant dans le championnat élite d'Espagne ont réalisé deux protocoles : l'un avec un gardien l'autre sans. Dans les deux cas, les joueuses devaient réalisées plusieurs tirs selon différentes contraintes (1 : aucune consigne particulière, 2 : pénalty à 7 mètres, 3 : tir à 9 mètres avec trois pas d'élan, 4 : tir à 9 mètres avec course d'élan). La vitesse de balle a été prise par le biais d'un radar. Les résultats montrent des disparités de vitesse entre les postes joués. Les handballeuses jouant sur la base arrière sont plus puissantes que celles de la base avant. Les scientifiques ont montré que les joueuses de haut niveau tiraient en moyenne à une vitesse comprise entre 17.1 et 22.2 $m.s^{-1}$. De plus, quelque soit la forme de tir et le poste joué, la présence d'une gardienne dans la cage réduit quelque peu la vitesse de tir. La gardienne étant vu comme un obstacle oblige la joueuse a s'attarder sur le placement de la gardienne et à la manière de tirer, induisant plus de précision dans le geste et donc moins de force dans le geste. Les auteurs concluent que les habiletés ouvertes proposées par l'environnement influencent de manière négative sur la vitesse de lancer de la balle.

Enfin, Rouard et coll. (2001) ont réalisé une étude sur la biomécanique du tir en suspension au handball. Pour cela, ils ont analysé le degré d'automatisation des coordinations "course-saut-lancer", leur différence pouvant résulter du sexe et/ou du poste et/ou du pied d'appel et les relations entre hauteur, temps d'impulsion, amplitude du bras tireur et technicité du tir. La vitesse et la précision du tir sont retenues comme critères de réussite. Ainsi, douze handballeurs de niveau confirmé (six hommes et six femmes) ont participé à l'étude et étaient regroupés selon les postes joués (la base arrière comprennant arrières et demi-centres, la base avant comprenant ailiers et pivots). Après un échauffement, les athlètes devaient réalisés deux tirs en appui avec élan pour pouvoir estimer la vitesse maximale de tir de chaque joueur servant ainsi de tir de référence. Après ces tirs, les athlètes

devaient réaliser huit tirs en suspension (quatre appel pied droit et quatre appel pied gauche). Un temps de récupération entre chaque tir était instauré. Pour valider le tir, l'athlète devait tirer sur une cible située dans le but et constituée de 5 cercles concentriques progressifs de 18.5 cm en 18.5 cm. Les mesures ont été réalisé grâce à une plaque dynamométrique où les athlètes devaient prendre leur impulsion, à l'aide de deux caméras (une centrée sur l'impulsion et une sur la trajectoire du ballon) et d'une combinaison avec des marqueurs sur les différentes articulations afin d'obtenir les kinogrammes de tir. Ces mesures se réalisent au niveau de l'impulsion (temps d'impulsion et les différentes forces exercées à l'appel), au niveau de la suspension (temps de suspension, la hauteur de suspension et la longueur de suspension) et l'amplitude du bras lanceur grâce au kinogrammes obtenues.

Les résultats nous montrent que malgré la répétition, l'organisation spatio-temporelle reste la même d'un tir à l'autre chez n'importe quel sujet. Ainsi, le tir en suspension suit une logique d'automatisation du geste grâce à un long apprentissage. Les seuls différences apparues se situent selon le sexe, le poste et le pied d'appel. Les différences minimes entre femmes et hommes sont dues principalement aux aspects tendino-musculaires de chaque sexe. En ce qui concerne le poste joué, il existe des différences segmentaires spatio-temporelles qui sont dues à un aspect morphologique. Les arrières ont un temps d'impulsion et de suspension plus important que les avants ce qui leur permet de préparer le mouvement circulaire du bras lanceur plus tardivement.

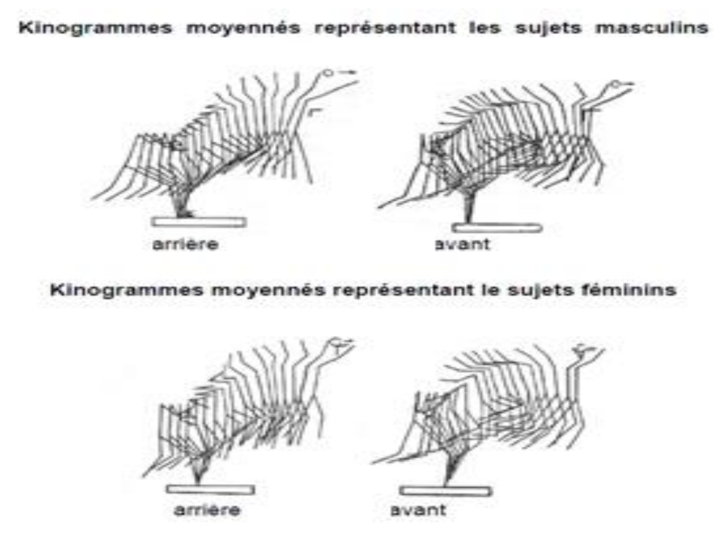
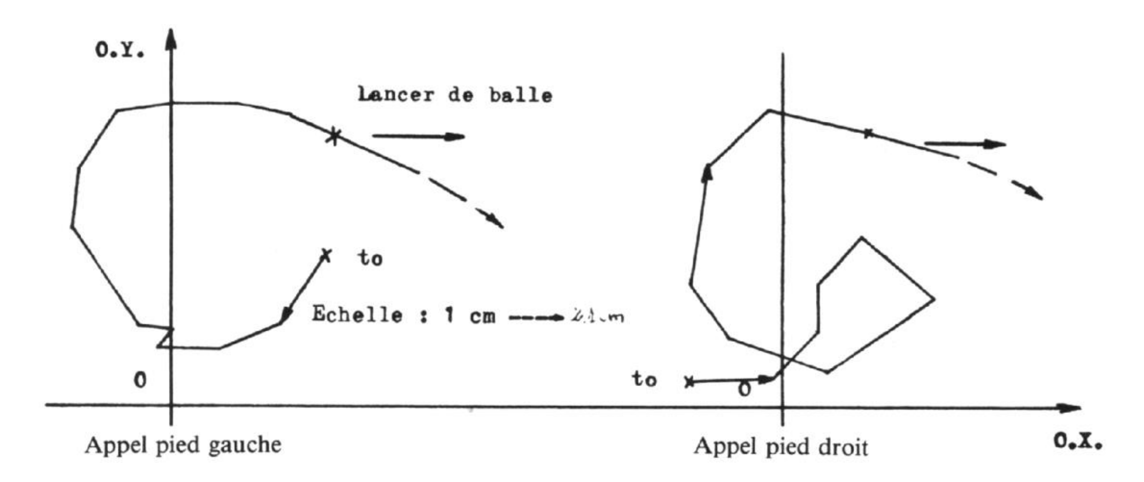


Figure 7: Kinogrammes selon le poste et le sexe d'après Rouard (2001)

Malgré le fait que les athlètes sautent plus haut en prenant appel "mauvais pied", il semble que l'organisation gestuelle inférieure perturbe l'organisation gestuelle

supérieure (tir à l'amble) obligeant une rééquilibration du corps de celui-ci (voir figure 8). Ces différences de hauteur sont dues au blocage que réalise le joueur lors de l'appel "mauvais pied" : les forces excercées à la pose du pied sont identiques que pour un sauteur en hauteur. Dans l'exemple ci-dessous, on constate que la trajectoire de la main est différente selon le pied d'appel.



t_0 : position de la main au contact du pied sur la plaque
0 : origine fixée sur le bassin

Figure 8: Représentation de la trajectoire de la main lors des tirs en suspension des arrières avec appel "bon pied" (gauche) et "mauvais pied" (droit) selon Rouard (2001)

Ainsi, Rouard et coll. arrivent à la conclusion que les tirs en suspension perdent de la puissance par rapport aux tirs en appuis car le sujet en l'air ne peut utiliser la réaction du sol dans son geste. Pour autant, la suspension laisse un temps supérieur d'organisation gestuelle du bras lanceur permettant ainsi à l'athlète d'avoir une meilleure stabilité du corps et donc une précision accrue dans son geste. Comme énoncé par Mikkelsen et coll. (1976), ils en déduisent que c'est pour des vitesses gestuelles proches de 80% du maximum que la précision est la plus importante.

En ce qui concerne le rôle du défenseur, l'étude d'Orth et coll. (2012) porte sur les effets d'un défenseur sur la vitesse de course et de tir au football. Les sujets devaient courir avec un ballon au pied et dépasser un marqueur avant de pouvoir tirer au but. Plusieurs contraintes à cette course ont été mises en place : la présence d'un défenseur loin, la présence d'un défenseur proche et l'absence de défenseur. La vitesse de balle, de course et la précision du tir ont été pris en compte. Les résultats montrent que la pression défensive d'interfèrent pas

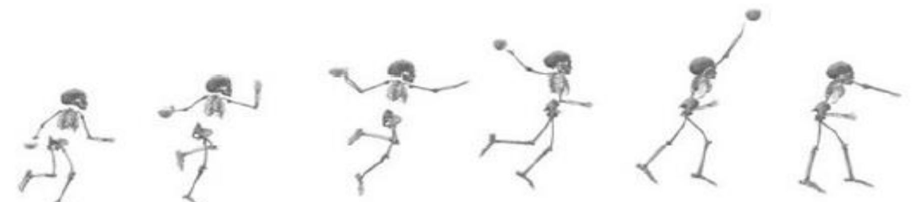
dans la pression du tir. Pour autant, cette pression induit des changements de vitesse de tir : plus le défenseur est proche et plus la vitesse de balle est faible. La vitesse de course varie que très peu d'un cas à l'autre. Les auteurs en concluent que la gestuelle de tir est spécifique au principe de performance et que des régulations du geste sont présentes à partir du moment où le défenseur est considéré comme contrainte à la tâche.

Pour conclure de ce cadre théorique, nous pouvons constater que les études ce sont principalement concentrées sur le tir en appui de handball. Pour modéliser le tir de handball, Fradet énonce que l'enchaînement segmentaire lors du tir, malgré des différences d'angulation, reste le même chez tout les sujets. Ainsi, pour les tirs en suspension à 9 mètres, dès la réception de la balle, les hanches se retrouvent en position de rotation externe jusqu'à atteindre un maximum sur la fin de la phase de l'armer. Durant la phase d'armer (phase pendant laquelle la balle est emmenée en position haute), le bras est en phase d'abduction, il s'éloigne du tronc. A la fin de cette phase, le bras se retrouve en abduction horizontale maximale. S'accompagnant à tout cela, le bras se retrouve en rotation externe jusqu'à la phase de tir. Concernant l'avant-bras, l'angle de flexion/extension est différent d'un sujet à l'autre à ce moment-là et selon la situation dans laquelle se retrouve l'athlète (défenseur, réception de balle…). Concernant la ceinture scapulaire, nous pouvons constater une rotation externe maximale à la fin de cette phase. Enfin, le tronc (thorax, abdomen et petit bassin) passe d'une position légèrement fléchi vers l'avant à la réception de la balle à une position d'extension, tandis que le buste (tête, cou et torse) est en position neutre.

La phase d'accélération du bras ou de tir commence au moment où l'épaule amorce un mouvement de translation vers l'avant et se termine au lâcher de la balle. Ainsi, au début de cette phase, le rotation du bassin s'inverse passant d'une rotation externe à une interne. Le mouvement du bras s'inverse également réalisant donc une adduction au début de la phase de tir pour finir en abduction. Au lâcher de la balle, le bras se retrouve en adduction

horizontale. Concernant la rotation de l'humérus ayant atteint une rotation externe maximale sur la phase précédente, la rotation s'inverse sur la phase de tir (rotation interne). Pour l'avant bras, il début le mouvement par une exension pour réaliser une légère flexion et terminer par une extension complète du bras lors de cette phase. La ceinture scapulaire réalise quant à elle, une rotation interne jusqu'au lâcher de balle. Au même moment, le tronc est en position neutre et le buste s'incline vers l'avant.

Lors de la phase de décélération, la balle vient d'être lâcher et l'ensemble du corps revient en position neutre. Tout cet enchaînement est ainsi résumé dans le tableau ci-dessous.



<table>
<tr><th>Segments</th><th>Réception de la balle</th><th>Début de l'armer</th><th>Fin de l'armer</th><th>Début du tir</th><th>Lâcher de la balle</th></tr>
<tr><td>Bassin</td><td colspan="3">Rotation externe</td><td colspan="2">Rotation interne</td></tr>
<tr><td>Tronc</td><td>Flexion avant</td><td colspan="2">Extension</td><td>Lègere flexion</td><td>Neutre</td></tr>
<tr><td>Buste</td><td colspan="3">Neutre</td><td colspan="2">Inclinaison avant</td></tr>
<tr><td>Epaules</td><td>Neutre</td><td colspan="2">Rotation externe</td><td colspan="2">Rotation interne</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Bras</td><td rowspan="3">Neutre</td><td colspan="2">Abduction horizontale</td><td colspan="2">Adduction horizontale</td></tr>
<tr><td colspan="2">Abduction</td><td>Adduction</td><td>Abduction</td></tr>
<tr><td colspan="2">Rotation externe</td><td colspan="2">Rotation interne</td></tr>
<tr><td>Avant-bras</td><td>Flexion</td><td>Aléatoire</td><td>Extension</td><td>Flexion</td><td>Extension</td></tr>
<tr><td>Poignet Main</td><td>Neutre</td><td colspan="2">Légère extension à Neutre</td><td>Extension</td><td>Flexion</td></tr>
</table>

Figure 9: Les différents mouvements réalisés par chaque segment selon les phases du tir de en suspension au handball

D'un point de vue anatomique, nous pouvons donc en déduire de cette analyse que lors de la réception de la balle, les abdominaux, les lombaires et les muscles des membres inférieurs travaillent en priorité. Lors de la phase d'armer, l'athlète est en suspension. Le tronc

s'ouvrant, les abdominaux s'étirent. La rotation externe des épaules est réalisée par le sous-épineux, le petit rond et le deltoïde qui se contractent. L'abduction et la rotation externe du bras sont quant à eux produits par l'action du grand dorsal, du deltoïde, du sus-épineux qui permet d'amener le bras vers l'arrière tandis qu'au même moment le trapèze, l'angulaire, le grand dentelé et le rhomboïde attirent l'omoplate vers la colonne pour permettre un geste optimal. La légère extension de l'avant-bras en fin de phase se réalise par l'action prioritaire du triceps brachial.

Lors de la phase de tir, les abdominaux et les membres inférieurs réalisent le mouvement de rotation du tronc et du bassin. La rotation interne est créée par la contraction du grand rond et du trapèze tandis que le grand pectoral et le deltoïde permettent de ramener le bras vers l'avant. La flexion de l'avant bras se réalise par l'action du biceps brachial, du brachial antérieur et du long supinateur tandis que l'extension par le triceps brachial.

Le geste se termine par les mouvements de la main et du poignet produit par l'activité du grand palmaire, des fléchisseurs et extenseurs des doigts et du poignet en priorité. Ainsi, la succession et la bonne coordination des muscles du membre supérieur en priorité permet donc d'obtenir une gestuelle efficace pour le tir de handball. La vitesse de la balle résulte prioritairement de la force dégagée par les muscles qui sont le grand dorsal (élève le bras vers l'arrière), le grand pectoral (ramène le bras vers l'avant) et l'enchaînement des contractions/relâchements du biceps et triceps (flexion et extension de l'avant bras). De par sa complexité, le tir en suspension ne peut-être que le résultat d'un long apprentissage (Handazur, 1980).

En ce qui concerne la biomécanique du tir en suspension de handball, selon les résultats qu'obtiennent les auteurs comme Fradet, Allard, Wagner et selon les principes liés aux mouvements segmentaires, nous pouvons émettre l'hypothèse que les vitesses segmentaires du geste parfait suivent les tracés réalisés dans la figure 10.

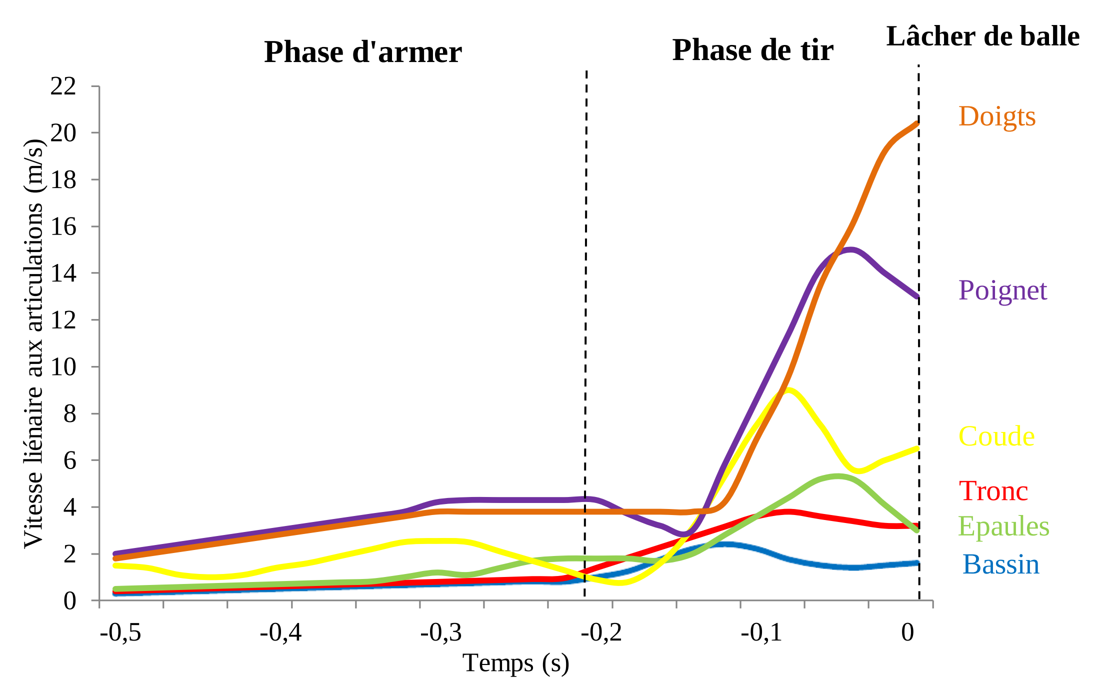


Figure 10: **Vitesses linéaires aux différentes articulations lors du tir en suspension de handball**

La plupart des études résumées dans ce cadre théorique présentent quelques problèmes concernant la mise en pratique des résultats apportés. En effet, la plupart des expérimentations se réalisent sans contraintes environnementales telles qu'un gardien de but, un ou plus défenseurs/partenaires. Pour autant, l'étude de Pori et coll. (2011) couplée à celle de Manchado et coll. (2011), nous montrent que la présence d'une seule contrainte environnementale induit une vitesse de balle et une précision différente qu'en situation sans contrainte. Pour être au plus proche de la réalité du terrain, l'analyse quelque soit l'activité doit se réalisée en situation ouverte.

De plus, la plupart des études se réalisent dans un ou deux plans anatomiques. Comme dit au début de ce chapitre, l'articulation de l'épaule est une articulation se déplacant dans les trois plans anatomiques. La rotation de celle-ci n'est pas régulière, ne se contente pas d'être que dans un seul de ces plans. C'est pourquoi, l'étude se doit d'être portée dans un espace tridimensionnel pour observer les déplacements du corps et notamment du membre supérieur dans les plans sagittal, frontal et transversal.

Grâce à tout cela et sachant que le jeu de handball nécessite un apprentissage particulier pour répondre aux contraintes amenées par les habiletés ouvertes, nous pouvons

nous demander si une corrélation entre organisation segmentaire lors du tir de handball et précision et/ou vitesse de la balle ? De même, l'enchaînement segmentaire lors du geste est-il le même d'un athlète ou à l'inverse, existe-t-il des variables stables qui induisent la réussite du tir quelque soit l'organisation au préalable ? Pourquoi la cible est atteinte si les variables organisationnelles sont différentes ?

III- Protocole expérimental

Rappelons que notre hypothèse n'a d'intérêt que de prouver que des variations existent dans l'organisation segmentaire selon la vitesse de lancer de balle : plus l'athlète essaie d'être précis et plus une organisation proximo-distale se met en place.

Le but de cette étude est donc de repérer ses erreurs, les analyser, comprendre pourquoi elles existent et trouver des réponses à ces problèmes. De même nous chercherons à comprendre les différences d'organisation segmentaire entre les athlètes selon des variables stables définies au préalable.

Pour cela nous allons utiliser deux méthodes différentes permettant de relever les vitesses segmentaires de chaque partie du bras.

A) Ressources disponibles

1) Ressources humaines

Pour notre expérience, nous avons besoin au minimum de dix sujets féminins ayant un niveau de pratique différent au sein de l'activité handball. Les sujets sont ainsi classés dans le tableau suivant.

Nom et prénom	Age	Niveau	Temps de pratique	Statut/ Expérience	Latéralité	Poste
Sujet 1 (LB)	21 ans	2ème Division	10 ans	Professionnelle (France Jeune)	Droite	Arrière Gauche
Sujet 2 (JL)	22 ans	2ème Division	9 ans	Professionnelle	Droite	Arrière Gauche
Sujet 3 (JoL)	19 ans	Centre de formation	8 ans	Semi-professionnelle (France Jeune)	Droite	Demi-Centre
Sujet 4 (MC)	17 ans	Centre de formation	8 ans	Semi-Professionnelle	Gauche	Arrière Droite
Sujet 5 (MR)	19 ans	Centre de formation	10 ans	Semi-Professionnelle (France Jeune)	Droite	Arrière Gauche
Sujet 6 (AD)	19 ans	Nationale 2	7 ans	Ex-Pôle Espoir	Droite	Demi-Centre
Sujet 7 (HR)	19 ans	Nationale 2	9 ans	Ex-Pôle Espoir	Droite	Arrière Gauche
Sujet 8 (JV)	21 ans	Nationale 2	5 ans	/	Gauche	Arrière Droite
Sujet 9 (CP)	19 ans	Nationale 2	6 ans	/	Droite	Arrière Gauche
Sujet 10 (LN)	22 ans	Nationale 2	11 ans	/	Droite	Arrière Gauche

<u>Figure 11:</u> Tableau récapitulatif des caractéristiques des sujets

Dans ce groupe, les résultats du sujet n°9 n'ont pas pu être exploité dû à un problème technique non aperçu sur le moment. La caméra a cessé de fonctionner durant l'expérience par manque d'espace de stockage empêchant d'avoir la moindre donnée.

	Mesures (cm)				
NOM Prénom	Bras	Avant-Bras	Epaule	Tronc	Taille totale
Sujet 1 (LB)	34	26	41	51	181
Sujet 2 (JL)	36	29	42	49	182
Sujet 3 (JoL)	34	28	41	46	181
Sujet 4 (MC)	33	30	44	50	187
Sujet 5 (MR)	34	27	41	46	172
Sujet 6 (AD)	32	25	44	46	173
Sujet 7 (HR)	34	26	43	47	175
Sujet 8 (JV)	34	28	43	49	178
Sujet 9 (CP)	36	29	41	47	177
Sujet 10 (LN)	32	25	44	46	175

Figure 12: Caractéristiques morphologiques des sujets

Ainsi, nous avons eu dix sujets féminins pour l'expérience : deux professionnelles (2ème division française), trois évoluant en centre de formation (entre le Pôle Espoir et le monde professionnel) et cinq évoluant en Nationale 2 féminin (4ème division française). Six d'entre elles sont étudiantes à l'UFR STAPS, une étudie en médecine, une autre en IUT, les deux dernières sont professionnelles. Elles furent choisies de manière arbitraire sur la base du volontariat, dans un groupe d'arrières élargi à 19 joueuses possibles. Leur niveau de pratique reste aléatoire. Sur cette dizaine de joueuse, 20% jouent au poste de demi-centre, 60% au poste d'arrière gauche et 20% au poste d'arrière droite. En moyenne, le

groupe est âgé de 19.80 années (± 1.62 années) et a une expérience de 8.30 ans (± 1.89 ans) dans la pratique du handball.

Au niveau des caractéristiques morphologiques, les mesures du bras ont été faites du haut de la tête de l'humérus à la fosse olécranienne ; pour l'avant-bras, de la fosse olécranienne au processus styloïde de l'ulna ; pour les épaules, nous avons pris comme base chaque acromion des épaules et pour le tronc ; du haut de l'omoplate à la partie haute de la crête iliaque. Le groupe mesure 178.10 centimètres (± 4.65 centimètres) en moyenne, le bras mesure 33.90 cm (± 1.37 cm), l'avant-bras est long de 27.30cm (± 1.7 cm) ; les épaules sont larges de 42.40 cm (± 1.35 cm) et le tronc est long de 47.70 cm (± 1.89 cm)

Enfin pour le bon déroulement de l'expérience, il faut au minimum cinq expérimentateurs : l'un assure le fonctionnement du système caméra VICON, l'un assure les films réalisés avec les caméras classiques, un autre relève le taux de réussite de lancer les deux derniers assurent la protection du système caméra VICON et la réception de la balle lancée.

2) Ressources matérielles

Comment faire pour pouvoir observer les différentes vitesses segmentaires en détail lors des phases du lancer de la balle ? En effet, étant un mouvement qui a pour but de transférer un maximum de vitesse dans la balle, chaque membre doit a interagir de la meilleure des façons qu'il soit le plus rapidement possible. Il est donc impossible de déceler à l'œil nu l'ordre exact et d'en déterminer précisément les différents transferts se réalisant lors du tir. Le but de l'expérience est donc de relever les vitesses des différents segments ainsi que les différents pics de vitesse afin de comprendre comment s'organise l'athlète lors des différentes phases de tir.

Pour cela, nous utilisons deux systèmes de prise vidéo au fonctionnement différent. Le premier se réalise à l'aide de simples caméras placées chacune dans un des trois plans anatomiques précédemment cités, à savoir, le plan frontal, le plan horizontal et le plan sagittal. Ces trois caméras filment une zone de deux mètres carrés ($2m^2$) délimitant ainsi la zone d'impulsion et donc les phases d'armer et de tir de handball. Pour exploiter ces vidéos,

nous utilisons le logiciel "Digitalisation 32"[1] développé par Frédéric Duclos, responsable et chercheur du centre de ressources et d'expertise du CREPS de Bourgogne. Ce logiciel permet de séquencer image après image la vidéo choisie et d'y pointer les différents éléments recherchés. Ce logiciel ne s'utilise qu'avec un Macintosh et n'existe pas sous Windows.

Le second système n'est autre que le système d'acquisition optoélectroniques à marqueurs passifs Vicon T10S. Il se compose de sept caméras infrarouges synchrones dont la fréquence est de 200 hertz.



Figure 13: Une caméra infrarouge du système Vicon

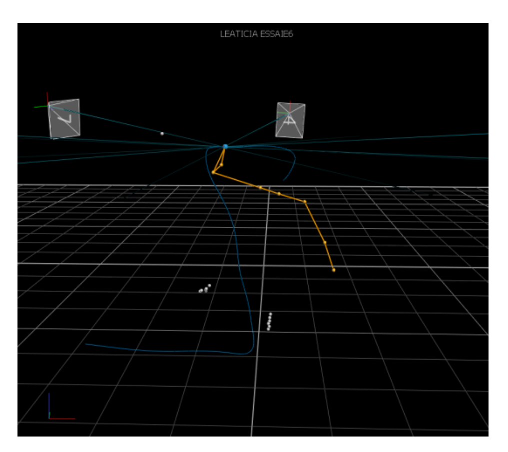
La phase d'acquisition nécessite deux étapes préliminaires : le calibrage et l'acquisition statique. La phase de calibrage du système est elle-même divisée en deux parties. Dans un premier temps, toutes les caméras filment une mire sur laquelle sont placées des marqueurs dont la position relative est connue par le système. Cela permet donc de situer chaque caméra dans le repère global de la scène. Dans un second temps, une phase dynamique au cours de laquelle une canne contenant des marqueurs séparés par une distance connue est enregistée. Ceci permet d'affiner le positionnement des caméras en tenant compte des non-linéarités et de déterminer le volume d'acquisition délimitant l'espace dans lequel le mouvement étudié peut être effectué.

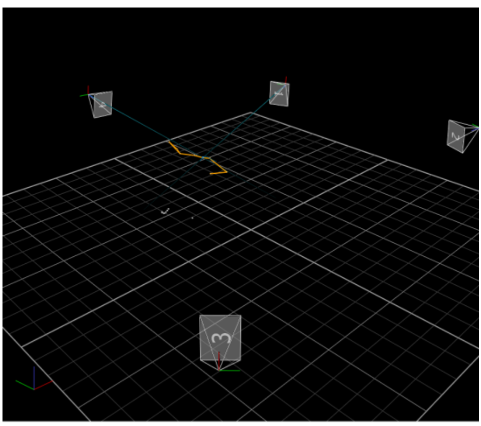
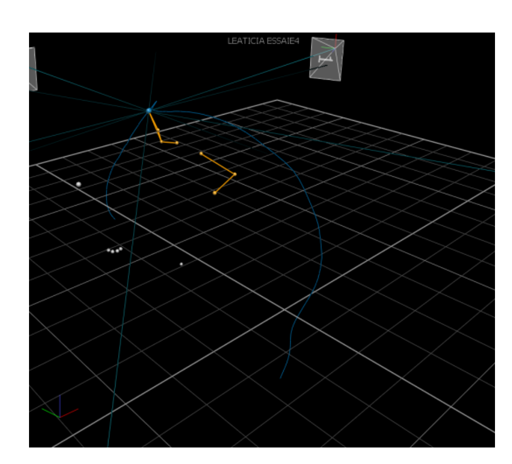
Une fois le travail défini pour le système, le sujet qui doit effectuer le mouvement est filmé en position statique pendant quelques secondes. Sur l'une des images de cet enregistrement, lorsqu'ils sont tous visibles, les différents marqueurs sont nommés. Le système peut alors faire l'apprentissage de la morphologie du sujet et de relier les marqueurs entre eux suivant les extrémités des os[2] qu'ils représentent. Cela permet de définir un "squelette de l'athlète".

Lorsque ces deux phases préliminaires sont exécutées, on peut alors procéder à l'enregistrement du mouvement proprement dit. Les systèmes d'acquisition employés permettent d'enregistrer puis de restituer à l'écran l'emplacement des marqueurs. Une fois l'enregistrement effectué, celui-ci peut être visualisé à l'aide du logiciel comme le montre la figure n°14.

---

[1] Voir en Annexe : Mode d'emploi "Digitalisation 32"
[2] Voir Protocole p.



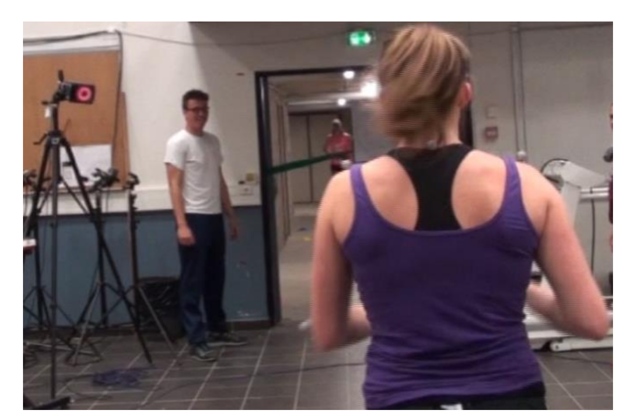
<u>Figure 14:</u> Phases de tir rematérialisées avec le système Vicon

En ce qui concerne le placement des caméras, les sept sont placés en arc de cercle autour de la zone délimitée pour la phase d'impulsion et de tir, comme pour le système précédent. Deux caméras sont placées face au tireur, trois autres derrière lui tandis que les autres se retrouvent en vis-à-vis de chaque côté du tireur

En ce qui concerne les marqueurs étant remarqués par les caméras infrarouges, ils sont situés sur les extrémités des segments du tireur tout en respectant les repères anatomiques permettant, d'après les tables anthropométriques, de définir les segments. Nous avons donc placé :

- Un marqueur sur chaque acromion
- Un marqueur sur chaque épicondyle médial de l'humérus
- Un marqueur au milieu de l'avant-bras lanceur (entre radius et cubitus)
- Un marqueur chaque styloïde du radius
- Un marqueur sur la 7ème vertèbre cervicale

De ce fait, l'ensemble du haut du corps est pris en compte, le bras lanceur comme le bras libre. Le marqueur au milieu de l'avant-bras permet d'être plus précis sur la relève des données lors de la phase de tir. Pour assurer une bonne tenue des marqueurs, nous demandions aux sujets de venir en débardeur afin de fixer les marqueurs à même la peau.



<u>Figure 15:</u> Présence des marqueurs sur sujet au départ du tir

Bien évidemment, les deux systèmes fonctionnent de manière simultanée pour pouvoir comparer les résultats. Quelle que soit la méthode, nous avons besoin en plus d'une cible de 0.5mètres sur 0.5 mètres et d'un filet afin d'amortir l'arrivée de la balle. La cible ressemble à celle utilisée en tir à l'arc avec trois zones représentées dessus avec pour chacune d'entre elles un quota de points (0 : hors cible → 3 : zone centrale). Enfin, une balle de taille 2 standard à la pratique féminine séniore est nécessaire ainsi que de la résine si besoin pour les habituées.

3) Ressources temporelles et localisation de l'expérience

L'expérience se réalise sur une journée à raison d'environ une heure de tests pour un sujet. Elle se compose de d'un échauffement, une séquence d'acquisition pour le système Vicon et de six séries de quatre tirs.

Tous les tests se déroulent au laboratoire Inserm situé à côté de l'UFR Staps.

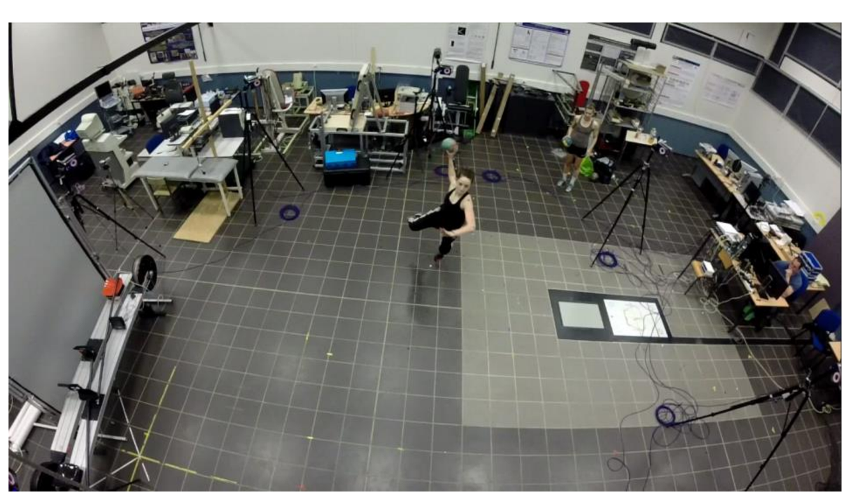


Figure 16: **Vue aérienne du laboatoire Inserm**

4) Mesures

Qu'il s'agisse d'une méthode ou de l'autre, les principales mesures faites correspondent à la vitesse produite par chaque segment lors de chaque tir durant la session de tests. Nous allons essayer de comprendre comment le sujet s'organise dans le but de transmettre une grande vitesse et à l'inverse pour essayer d'être le plus précis.

Avec le système "Digitalisation 32", nous avons pointé image après image le point correspondant à la recherche (balle, poignet, épaule…). En indiquant une mesure présente dans le plan filmé (dans notre cas, une mesure anthropométrique), en indiquant le point d'origine (situation du pied d'impulsion au départ de la phase de lancer) et de la direction du mouvement, le logiciel calcule de manière autonome les vitesses à chaque point marqué. Pour cela, il réalise le calcul suivant, pour un point (i) :

$$v_{(i)} = \frac{d(i+1) - d(i-1)}{2\Delta(t)} \qquad \text{avec } \Delta_{(t)} = 25 \text{ hertz} = 0.04 \text{ sec}$$

En réalisant l'action sur une articulation du bras, nous obtenons une valeur plus ou moins régulière. Les variations d'allure de la courbe représentent donc l'accélération à l'instant (t). Plus la pente est importante et plus l'accélération l'est autant.

Le système d'acquisition optoélectroniques Vicon T10S nous permet de réceptionner les points dans les plans Ox ; Oy ; Oz et donc dans les trois dimensions. Pour récupérer les données, il faut donc passer par le logiciel Nexus et en tirer les fichiers ".csv". Ces classeurs Excel comportent tous les points dans les trois plans de chaque marqueur.

ALEXIA ESSAIE2
Date: 12/05/2014
Time: 19:57:42
Type: Defaut
Description:
Notes:

TRAJECTORIES
200 Hz

	POIGNET DROIT			COUDE DROIT			MI BRAS D		
Field #	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
397	-14,2423	1989,171	-218,677	143,3116	2073,14	-55,0234	56,2503	2032,927	-118,075
398	-20,8101	1999,767	-216,221	149,1323	2066,171	-56,6471	56,4124	2036,685	-115,148
399	-26,3136	2010,416	-211,817	154,853	2059,283	-57,9361	57,27235	2040,666	-111,152
400	-30,451	2020,834	-205,648	160,4374	2052,599	-58,608	58,80714	2044,785	-106,119
401	-33,24	2031,062	-197,758	165,8541	2046,163	-58,4584	60,98732	2048,934	-100,088
402	-34,5789	2040,666	-188,266	171,0791	2039,966	-57,3439	63,77752	2052,988	-93,1063
403	-34,5242	2049,616	-177,434	176,095	2033,95	-55,1754	67,13716	2056,811	-85,2284
404	-32,8524	2057,956	-165,167	180,891	2028,021	-51,912	71,02101	2060,255	-76,513
405	-29,8044	2065,055	-151,932	185,4618	2022,056	-47,5545	75,37985	2063,167	-67,0235
406	-25,156	2071,502	-137,713	189,8075	2015,914	-42,1387	80,161	2065,396	-56,8266
407	-19,2783	2077,188	-122,597	193,9329	2009,445	-35,7288	85,30907	2066,79	-45,9912
408	-12,526	2081,544	-107,084	197,847	2002,498	-28,4114	90,76648	2067,205	-34,5871
409	-4,96493	2084,707	-91,1736	201,5625	1994,932	-20,2888	96,4741	2066,508	-22,6846
410	2,907911	2086,451	-75,0038	205,0951	1986,624	-11,4724	102,3719	2064,579	-10,353
411	10,96384	2087,185	-58,6391	208,4634	1977,479	-2,07622	108,3994	2061,319	2,340605
412	18,82687	2085,95	-42,2945	211,688	1967,439	7,78925	114,4967	2056,649	15,33185
413	26,56951	2083,839	-25,6384	214,791	1956,492	18,02391	120,6045	2050,52	28,56056
414	34,04612	2081,029	-8,72089	217,7956	1944,684	28,54431	126,6653	2042,908	41,97162
415	41,31009	2077,3	8,540616	220,7257	1932,125	39,29019	132,6236	2033,83	55,51606
416	48,19188	2072,586	25,79974	223,605	1918,996	50,23095	138,4268	2023,336	69,15209
417	54,78968	2067,307	43,4607	226,4568	1905,568	61,37212	144,0255	2011,52	82,84616
418	61,09266	2061,246	61,10298	229,3035	1892,201	72,76183	149,3745	1998,524	96,57399
419	67,05962	2054,443	78,90592	232,1731	1879,385	84,50961	154,4331	1984,539	110,3216
420	72,70061	2046,661	96,46452	235,0347	1867,553	96,69828	159,1659	1969,81	124,0864
421	78,02469	2038,476	114,2121	237,92	1857,168	109,4915	163,5434	1954,639	137,8781

	EPAULE D			COU			EPAULE G			COUDE G			POIGNET G	
Field #	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y
397	214,1542	1831,563	170,2642				397,8273	1615,098	95,54146	339,9509	1534,511	-229,356	126,3287	1568
398	211,282	1821,758	170,5338				392,4704	1600,56	97,41074	328,2645	1513,493	-222,739	111,9265	1548
399	208,3224	1811,673	170,6322				386,4261	1586,496	100,0625	316,554	1492,652	-215,981	98,40533	1528
400	205,6044	1801,463	171,0276	366,2579	1743,548	146,5466	381,5198	1573,065	103,7092	305,1731	1471,722	-208,739	85,68199	1507
401	203,2965	1791,308	171,7165	363,1513	1729,719	148,4589	374,8307	1559,686	107,537	293,8005	1450,635	-200,789	72,8751	1485
402	201,4213	1781,379	172,7941	360,9391	1716,78	150,516	371,4252	1546,458	112,792	282,3115	1429,36	-191,399	59,71531	146
403	199,9583	1772,16	174,3443	357,1612	1703,496	153,1805	366,9797	1533,408	118,2129	270,4999	1407,56	-180,03	47,09066	1442
404	198,1097	1761,254	177,5462	354,7246	1690,429	156,317	361,8631	1520,425	123,9502	258,9131	1385,76	-166,675	34,89666	142
405	196,6853	1750,845	179,8006	351,4317	1677,761	159,8998	356,42	1507,814	130,4556	247,5791	1363,903	-152,173	24,36123	1399
406	195,2164	1740,376	182,9545	348,285	1665,224	163,7256	349,6948	1494,872	136,8867	237,345	1342,356	-136,729	15,3571	1377
407	194,1386	1732,393	186,0425	345,5345	1653,016	167,6811	344,2251	1483,088	144,2405	227,0106	1321,083	-120,356	8,186454	1354
408	192,8473	1721,391	190,0933	342,3203	1641,038	172,2849	339,0281	1471,767	152,4868	217,6656	1300,407	-103,421	1,743987	1333
409	191,4808	1710,33	194,7265	339,5219	1629,438	177,244	333,8285	1460,429	161,1764	209,2457	1280,135	-85,8399	-4,8534	1312
410	190,3204	1700,184	200,122	336,4385	1617,77	182,8151	329,3373	1449,045	170,4439	201,4897	1260,186	-67,2349	-12,8541	1290
411	189,3388	1690,529	205,9749	333,6862	1606,22	187,9938	326,1478	1438,231	180,7224	194,0321	1240,49	-48,8365	-19,3899	1268
412	188,4516	1680,975	212,5601	330,421	1594,657	194,2375	321,8701	1427,14	190,7861	187,6382	1221,217	-29,4387	-23,9358	1250
413	187,5706	1671,576	219,5554	327,9513	1583,311	200,6187	317,2625	1416,17	201,3468	181,8009	1202,517	-9,50198	-28,0913	1233
414	187,1146	1662,034	227,0194	325,232	1572,018	207,0655	312,9398	1405,358	212,1999	176,4496	1184,257	10,76825	-31,6024	1214
415	186,6925	1652,136	234,7398	323,1783	1560,625	213,6588	308,7788	1394,726	223,5149	171,7984	1166,452	31,44522	-34,7185	1195
416	186,6489	1642,21	242,7165	321,5892	1549,226	220,5245	304,3878	1384,417	235,0483	167,6637	1149,035	52,35532	-37,1426	1177
417	186,7442	1632,154	250,9506	318,0782	1537,502	228,0509	299,8077	1374,366	246,7631	164,0408	1132,294	73,40541	-39,2352	1159
418	186,7911	1621,815	259,1317	315,5053	1525,866	235,3716	295,5819	1364,593	258,8833	161,0552	1115,908	94,47025	-41,0485	1141
419	186,464	1611,591	267,5998	312,9424	1514,287	242,7464	290,7028	1354,761	270,5483	158,9686	1099,828	115,5997	-42,9448	1124
420	186,0818	1600,979	275,8045	310,5826	1502,486	250,4202	285,9582	1345,321	282,3917	157,3344	1084,286	136,8596	-44,1665	1107
421	185,2932	1590,044	284,0491	308,0077	1490,817	258,1456	281,6168	1335,831	294,0782	156,3685	1068,846	157,8595	-45,1585	1090

<u>Figure 17:</u> Exemple de fichier ".csv"

Le logiciel "Digitalisation 32" permet de même d'obtenir les différentes hauteurs de chacun des segments lors de chaque image. Ces kinogrammes ne nous apprennent rien de particulier mais nous permet d'obtenir la hauteur de lancer de la balle. Ce paramètre

sera mis en corrélation à la vitesse de balle et la précision du tir. Ce même logiciel, via le calcul des vitesses nous permet d'obtenir les pics de vitesse de chacun des segments. Pour la balle, le pic correspond au lâcher de celle-ci donc à la fin de la phase de tir. Pour les autres pics, ils correspondent tous à la vitesse maximales atteintes par l'articulation. De part ces pics, nous pouvons en déduire les différentes phases du tir ainsi que leur temps afin de mettre en évidence l'existence d'une corrélation ou non sur la durée des phases selon les consignes des tests (tir fort o précis).

Enfin, les résultats concernant la précision du tir sont relevés par un observateur et retranscrit sur papier par cette même personne. Cette personne doit se placer face à la cible de manière à ne pas être caché pour voir au mieux l'impact de la balle sur la cible.

Les données seront relevées par le biais d'Excel pour que ces donées statistiques du groupe soient analysées par le logiciel Statistica.

B) La procédure expérimentale

Comme dit précédemment, après un échauffement russe progressif sur le haut comme le bas du corps et après une calibration du système Vicon aux morphologies de l'athlète, les sujets effectuent une première série de quatre tirs en suspension, sans opposition et sans gardien. Le tireur doit respecter le volume de calibrage dans lequel le geste peut être exécuté. Le point d'impulsion est marqué au sol et reste fixe pour tous les sujets. Ces derniers s'en éloignent autant qu'ils le veulent. Ce point est éloigné de 10.50 mètres d'une cible de 50 centimètres sur 50 centimètres dans le but que le tir soit déclenché aux alentours de 9 mètres de la cible. Lors de cette première série, les athlètes doivent partir balle en main et faire trois pas avec comme consigne de tirer le plus fort possible (réussite sur la cible mineure par rapport à la vitesse de balle). L'impulsion se réalise à la pose du troisième appui. Une récupération de trente seconde se réalise entre chaque essai.

Une fois la première série terminée, le sujet réalise les mêmes consignes qu'auparavant à un détail près : ils doivent cette fois-ci être le plus précis possible sur la cible au détriment de la vitesse. Les sujets ont encore quatre essais dans cette seconde série.

Lors de la troisième série, le départ de l'action varie quelque peu. En effet, les athlètes doivent réaliser un dribble tout en avançant et enchaîne avec les trois appuis et la

suspension. Lors de cette série, la consigne est d'avoir un tir le plus fort possible. Les sujets ont quatre essais.

Pour la quatrième série, il s'agît de refaire les quatre essais de la troisième série avec comme consigne d'être le plus précis possible.

Lors de la cinquième série, les sujets ont quatre tentatives en ne faisant qu'un seul pas avant l'impulsion en tirant le plus fort possible. La sixième série démarre de la même manière que la précédente avec comme consigne d'être le plus précis possible.

Une récupération entre chaque essai et entre chaque série est mise en place dans le but que la fatigue ne soit pas un facteur néfaste à la performance mais aussi pour éviter au maximum l'effet d'apprentissage du geste. L'ordre des séries est totalement aléatoire d'un sujet à l'autre.

Les joueuses ont la possibilité d'utiliser de la résine si elles le désirent. Elles ont pour seules consignes de respecter les contraintes de précision, de force, de respecter les différentes formes de départ et de réaliser des lancers à bras cassé. Enfin, la vitesse de balle atteinte est transmise arbitrairement à la joueuse afin que cette dernière soit motivée à effectuer un tir à vitesse maximale.

La chronologie des tests est résumée dans le tableau ci-dessous.

Libellé de la série	Contraintes	Consignes	Nombre d'essais
Série 1	3 pas	Fort	4
Récupération 1 (1 minute)			
Série 2	3 pas	Précis	4
Récupération 2 (1 minute)			
Série 3	Dribble + 3 pas	Fort	4
Récupération 3 (1 minute)			
Série 4	Dribble + 3 pas	Précis	4
Récupération 4 (1 minute)			
Série 5	1 pas	Fort	4
Récupération 5 (1 minute)			
Série 6	1 pas	Précis	4

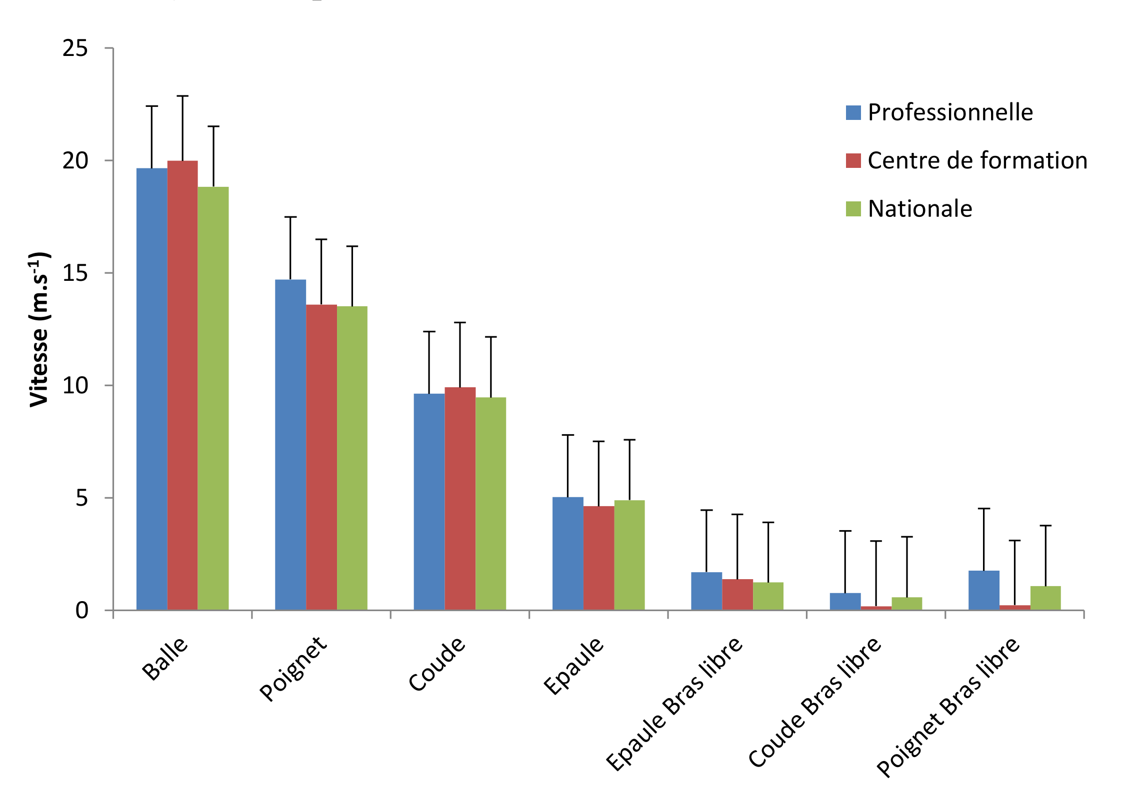
Figure 18: Chronologie du protocole de tests

C) Statistiques

Pour pouvoir évaluer de l'expertise par rapport à la vitesse de chaque segment du bras, les résultats sont étudiés via le logiciel STATISTICA, car l'analyse se fera via un test Anova à mesures répétées suivi d'un post-hoc qui n'est autre que le test de Scheffé. Pour la comparaison intra-groupale, le test t de Student sera réalisé.

IV- Résultats

A) Les tirs puissants

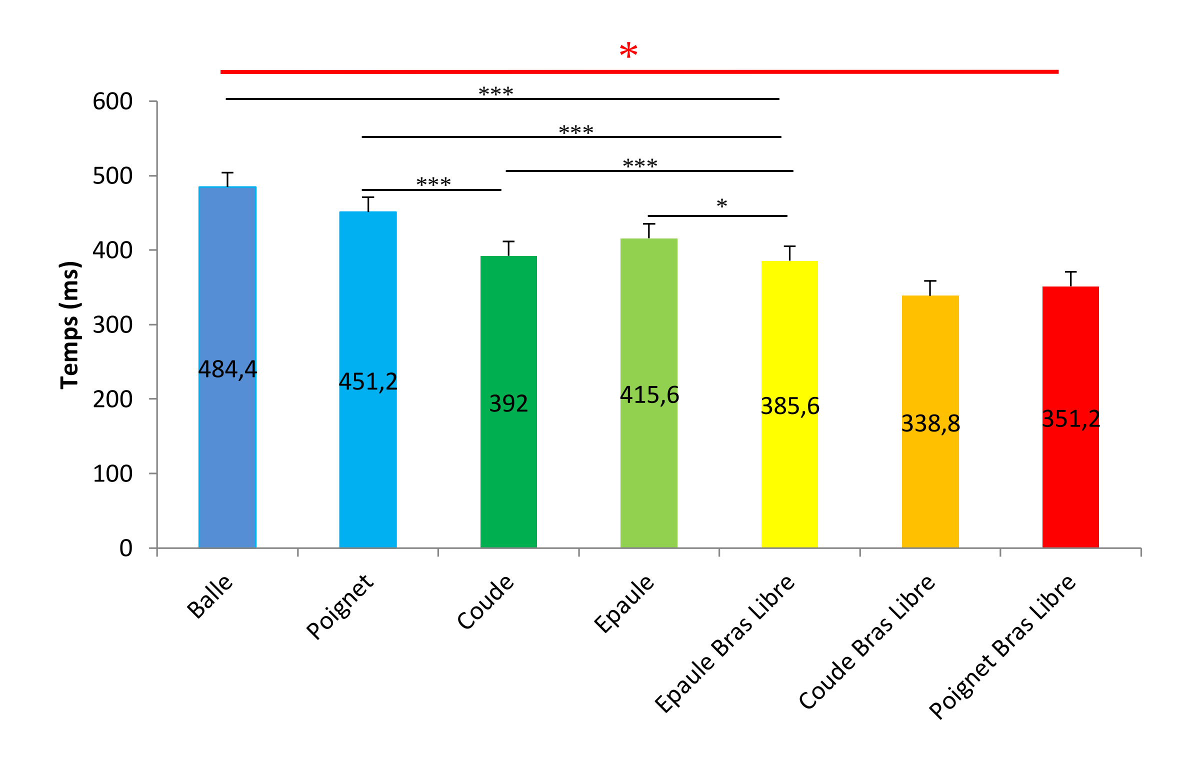


<u>Figure 19:</u> Moyenne des pics des vitesses segmentaires réparties selon le niveau d'expertise lors de la phase de tir

En comparant les vitesses segmentaires entre chaque groupe, nous pouvons constater que la vitesse augmente du segment proximal (épaule) jusqu'au distal (poignet/épaule) pour le bras lanceur pour tous les groupes. En moyenne, la vitesse de l'épaule représente 25.08 % (± 2.70 %) de celle de la balle, la vitesse du coude 49.75 % (± 3.29 %) et celle du poignet 71.33 % (± 4.63 %). En ce qui concerne le bras libre, il n'y a aucune logique entre chacun de ces membres. D'après le test ANOVA à mesures répétées, il n'y a aucun signe significatif entre les vitesses engendrées et le niveau d'expertise des athlètes. En moyenne, la vitesse de la balle est de 19.4 $m.s^{-1}$ (± 1.9 $m.s^{-1}$) soit une vitesse 69.84 $km.h^{-1}$ (± 6.84 $km.h^{-1}$).

De même, il n'existe aucune corrélation entre hauteur de lâcher de balle et vitesse de celle-ci.

Intéressons-nous maintenant à la succession d'arrivée des pics de vitesse.



<u>Figure 20:</u> Temps en millisecondes entre le départ du mouvement et l'arrivée du pic de chaque segment

Le graphique ci-dessus nous montre le temps que met chaque segment à arriver à son pic de vitesse[3]. En moyenne, le pic du coude du bras libre arrive en premier (338.8 ms, ± 123.6 ms), suivi par celui du poignet bras libre (351.2 ms, ± 137.8 ms) puis de l'épaule bras libre (385.6 ms, ± 125.2 ms), puis du coude (392 ms, ± 126.8 ms) de l'épaule (415.6 ms, ± 127.7 ms), du poignet (451.2 ms, ± 134.4 ms) et enfin de la balle (484.4 ms, ± 138.8 ms).

Les tests statistiques mettent en évidence l'antériorité du pic de l'épaule du bras libre par rapport à celui du coude, du poignet et de la balle. En effet, le test est très significatif dans les trois cas ($p < 0.001$). Cela veut donc dire que le pic de vitesse de l'épaule du bras libre s'effectue avant celui du coude, du poignet et de la balle avec un pourcentage d'erreur de 0.1 %. Toujours pour le pic de vitesse de l'épaule du bras libre, le test nous montre que son antériorité par rapport à l'épaule lanceuse est significative ($p < 0.05$).

---

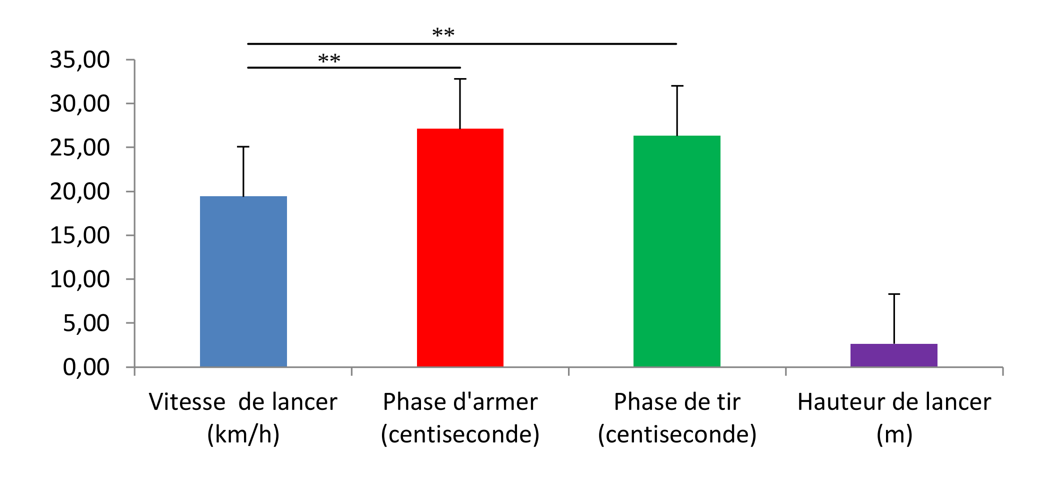
[3] Voir p.44 "<u>Figure 28:</u> Evolution des vitesses linéaires de chaque articulation lors de la phase de tir par le biais du logiciel Digitalisation 32"

En ce qui concerne l'épaule, les seuls tests statistiques significatifs concernent ses relations avec la balle et le poignet ($p < 0.05$). Cela veut donc dire que le pic de l'épaule se situe en amont de celui de la balle et du poignet avec un pourcentage d'erreur de 5 %.

De la même manière, un test statistique comparant le temps d'arrivée du pic de vitesse du coude par rapport à celui du poignet a été mis en place. Ce dernier est très significatif ($p < 0.001$) voulant donc dire que le pic de vitesse du coude s'effectue avant celui du poignet.

Enfin, en ce qui concerne les tests mettant en relation la balle, ils sont tous significatifs (au maximum $p < 0.05$). Cela veut donc dire que le pic de vitesse de la balle est le dernier à se réaliser par rapport à ceux des autres segments. Toutes ces significations sont représentées en rouge sur le graphique précédent. Hormis avec la balle, le coude et le poignet du bras libre non aucune corrélation avec les autres segments des deux bras.

Intéressons-nous maintenant au rapport existant entre la vitesse de balle et le temps de la phase d'armer et celle du temps de tir.



<u>Figure 21:</u> Histogramme comparatif de la vitesse de la balle par rapport à la hauteur du lancer, la phase d'armer et la phase de tir

Les résultats du test Student nous montre que les résultats de la vitesse de lancer sont corrélés à ceux de la phase d'armer ($p < 0.01$) et à ceux de la phase de tir ($p < 0.01$). Pour autant les résultats au test montrant le rapport entre la hauteur maximale atteinte et la vitesse de lancer, la phase de tir ou la phase d'armer ne sont pas significatifs. Il en est de même pour la relation entre les deux phases du lancer à bras cassé.

B) Les tirs précis

Cette partie relate les résultats obtenus pour les tirs où le sujet devait tirer le plus précisément possible en délaissant le facteur puissance sur une cible éloignée de neuf mètres.

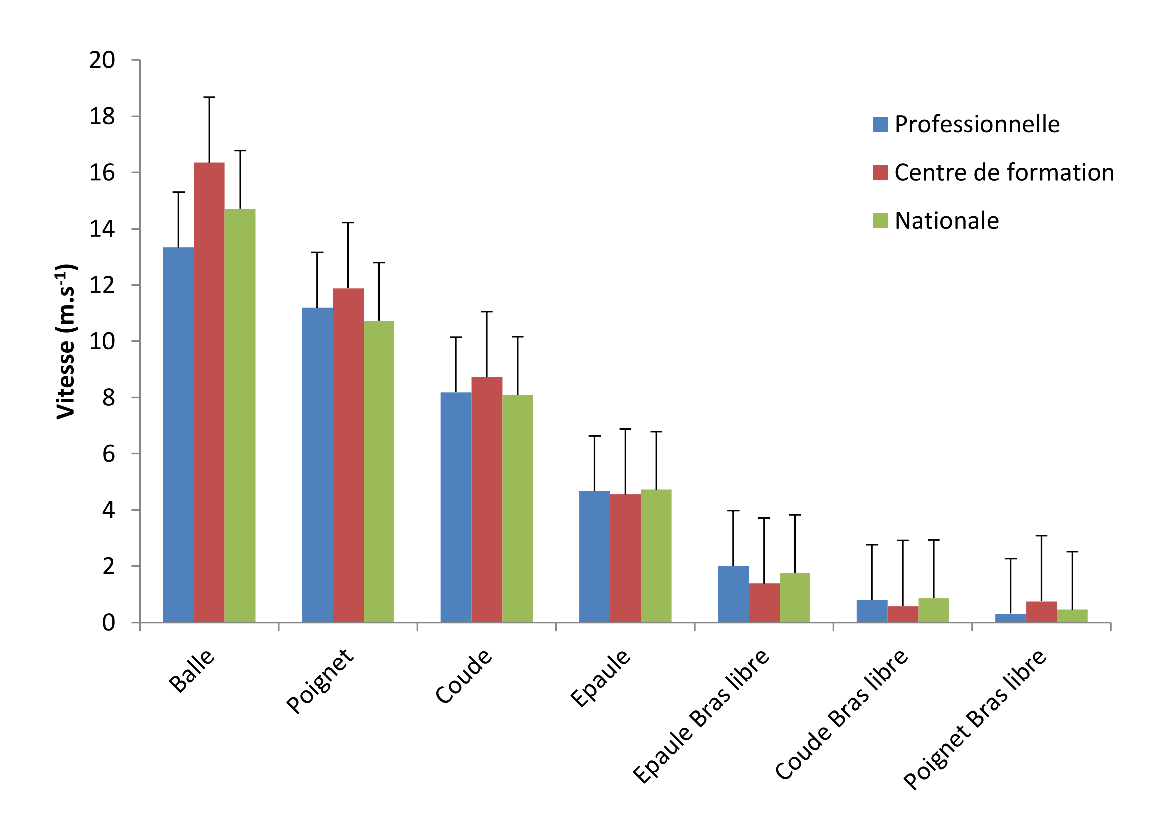
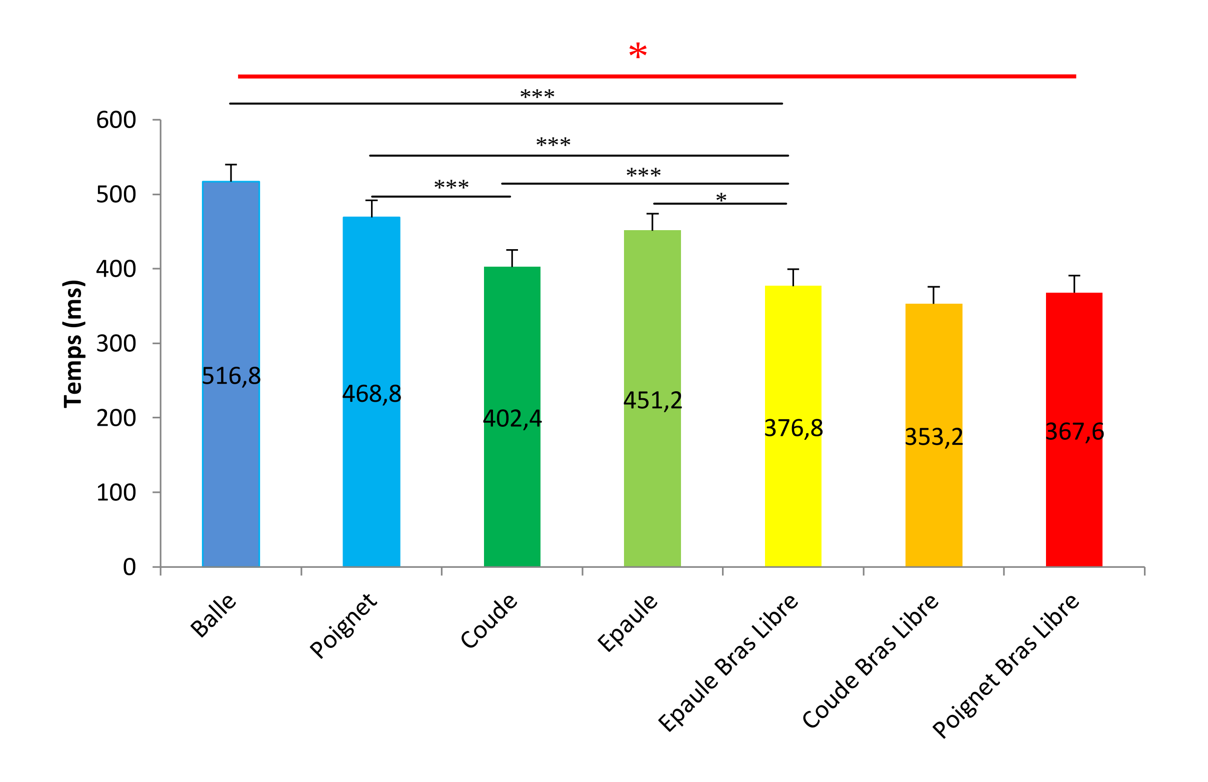


Figure 22: Moyenne des pics des vitesses segmentaires réparties selon le niveau d'expertise lors de la phase de tir

Comme précédemment, en comparant les vitesses segmentaires entre chaque groupe, nous pouvons constater que la vitesse augmente du segment proximal (épaule) jusqu'au distal (poignet/épaule) pour le bras lanceur pour tous les groupes de niveaux. En moyenne, la vitesse de l'épaule représente 31.72 % (± 4.34 %) de celle de la balle, la vitesse du coude 56.54 % (± 6.22 %) et celle du poignet 75.95 % (± 6.89 %). En ce qui concerne le bras libre, il n'y a aucune logique entre chacun de ces membres. D'après le test ANOVA à mesures répétées, il n'y a aucun signe significatif entre les vitesses engendrées et le niveau d'expertise des athlètes. En moyenne, la vitesse de la balle est de 14.95 $m.s^{-1}$ (± 1.97 $m.s^{-1}$) soit une vitesse 53.82 $km.h^{-1}$ (± 7.1 $km.h^{-1}$).

Intéressons-nous maintenant à la succession d'arrivée des pics de vitesse.



<u>Figure 23:</u> Temps en millisecondes entre le départ du mouvement et l'arrivée du pic de chaque segment

En observant le graphique ci-dessus ainsi que les résultats obtenus, nous pouvons constater que le pic du coude du bras libre arrive en premier (353.2 ms, ± 114 ms), suivi par celui du poignet du bras libre (367.6 ms, ± 116 ms) puis de l'épaule du bras libre (376.8 ms, ± 115.2 ms), puis du coude (402.4 ms, ± 128.8 ms), de l'épaule (451.2 ms, ± 118.4 ms), du poignet (468.8 ms, ± 132.8 ms) et enfin de la balle (516.8 ms, ± 132.4 ms).

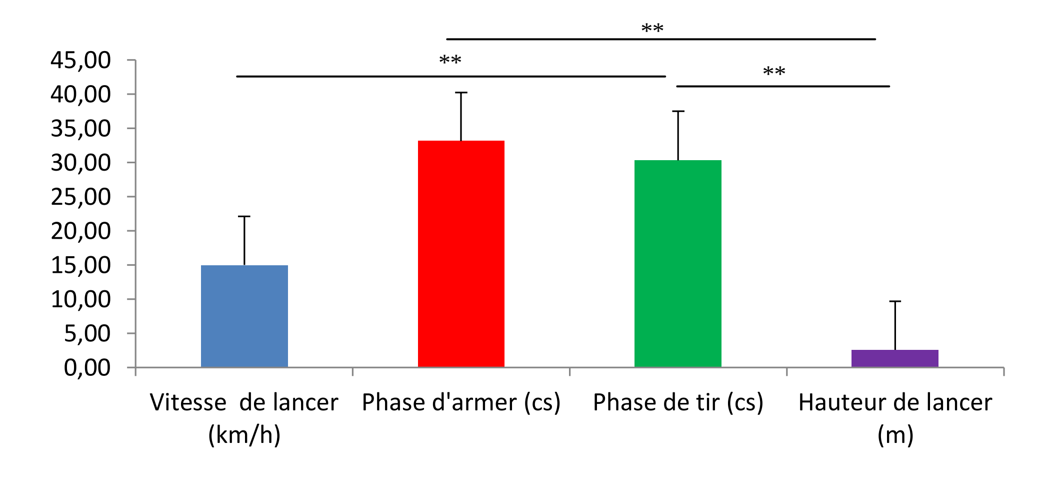
Les tests statistiques pour les tirs précis mettent en évidence l'antériorité du pic de l'épaule du bras libre par rapport à celui du coude, du poignet et de la balle. Comme pour le cas des tirs puissants, le test est très significatif dans les trois cas ($p < 0.001$). Cela veut donc dire que le pic de vitesse de l'épaule du bras libre s'effectue avant celui du coude, du poignet et de la balle avec un pourcentage d'erreur de 0.1 %. Il en est de même pour l'antériorité du pic de vitesse de l'épaule du bras libre par rapport à l'épaule lanceuse ($p < 0.05$).

En ce qui concerne le pic de vitesse de l'épaule lanceuse, aucun test n'est significatif avec cette dernière hormis le pic de vitesse de la balle ($p < 0.05$).

De la même manière, un test statistique comparant le temps d'arrivée du pic de vitesse du coude par rapport à celui du poignet et celui de la balle ont été mis en place. Ces derniers sont successivement significatif ($p < 0.05$) et très significatif ($p < 0.001$) voulant donc dire que le pic de vitesse du coude s'effectue avant celui du poignet.

Comme dans le cas précédent, en ce qui concerne les tests mettant en relation la balle, ils sont tous significatifs (au maximum $p < 0.05$). Cela veut donc dire que le pic de vitesse de la balle est le dernier à se réaliser par rapport à ceux des autres segments. Toutes ces significations sont représentées en rouge sur le graphique précédent. Hormis avec la balle, le coude et le poignet du bras libre non aucune corrélation avec les autres segments des deux bras.

Intéressons-nous maintenant au rapport existant entre la vitesse de balle et le temps de la phase d'armer et celle du temps de tir lors des lancers précis.



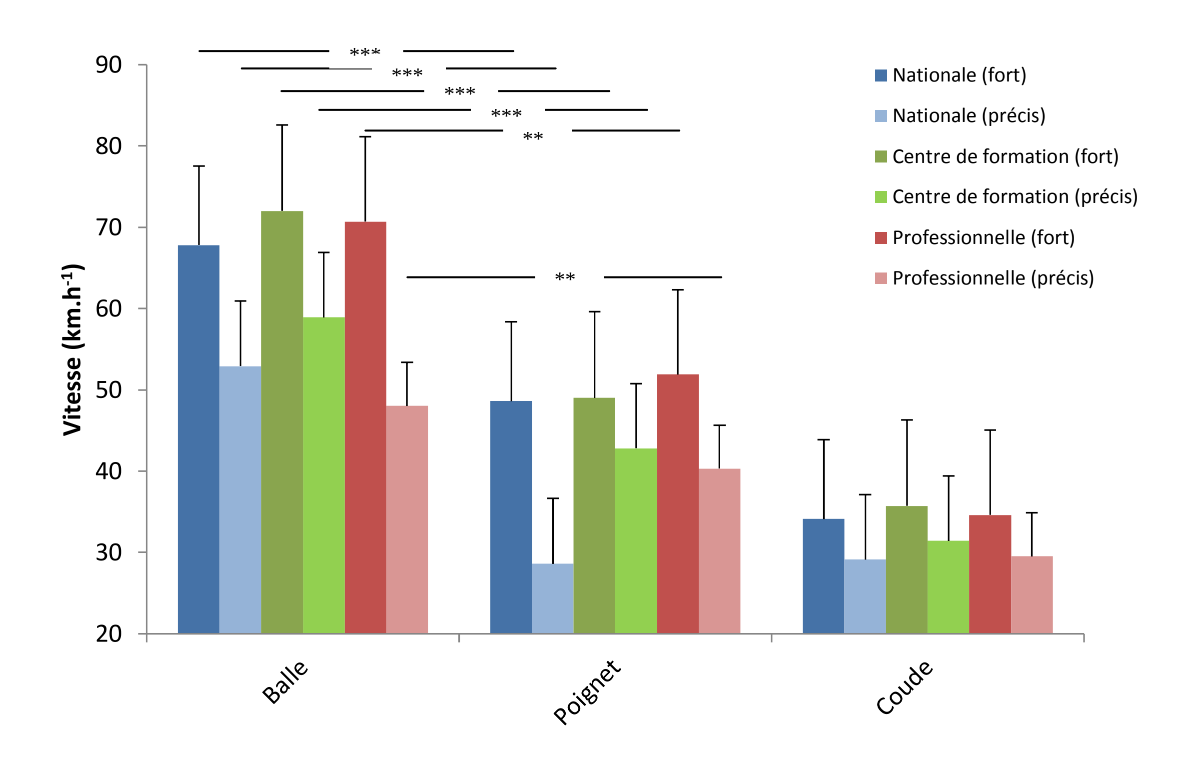
<u>Figure 24:</u> Histogramme comparatif de la vitesse de la balle par rapport à la hauteur du lancer, la phase d'armer et la phase de tir

Les résultats du test t de Student nous montrent que la vitesse de lancer est significative par rapport à la phase de tirs ($p < 0.01$). Pour autant les résultats au test montrant le rapport entre la hauteur maximale atteinte et les deux phases du lancer à bras cassé sont significatifs ($p < 0.01$). Pour autant la valeur du pic de vitesse de lancer n'est pas significative avec celle de la hauteur du lancer de la balle.

C) Comparaison entre les types de tir et entre groupes

En ce qui concerne la vitesse de lancer de chaque segment et en comparant les tirs, nous pouvons constater que les moyennes de la vitesse du coude et du poignet du bras libre restent similaires d'un tir à l'autre (± 1 $km.h^{-1}$ de différence). Il en est de même pour l'épaule du bras libre. Etrangement, les vitesses les plus élevées pour le bras libre sont pour les tirs précis.

En ce qui concerne le bras lanceur, la moyenne de la vitesse de l'épaule est différente de + 0.7 $km.h^{-1}$ entre le tir fort et le tir précis. Cette différence représente une baisse de 3.8 % pour le tir précis. Pour le coude, sa vitesse moyenne diffère de + 4.8 $km.h^{-1}$ entre le tir fort et le tir précis soit une baisse de 13.8 % de sa vitesse pour le tir précis. En ce qui concerne la vitesse moyenne du poignet, nous pouvons constater un écart de 9.3 $km.h^{-1}$ entre les deux types de tirs soit une baisse de 18.8 % lors du tir précis. Enfin, la vitesse moyenne de la balle baisse de + 16.02 $km.h^{-1}$ entre le tir fort et le tir précis soit une différence de 23 %.



<u>Figure 25:</u> Moyennes des vitesses segmentaires par groupe et par contraintes (fort/précis)

En regroupant par catégorie, les athlètes évoluant au niveau national tirent en moyenne 67.8 $km.h^{-1}$ (± 10.6 $km.h^{-1}$) lors d'un tir puissant et à 52.9 $km.h^{-1}$ (± 5.4 $km.h^{-1}$) lors

d'un tir précis soit une différence de 14.9 km.h^{-1} représentant une différence de 21.9 %. Les filles évoluant en centre de formation tirent à 72 km.h^{-1} (± 1.5 km.h^{-1}) lors d'un tir puissant et à 58.9 km.h^{-1} (± 7.8 km.h^{-1}) soit une différence de 13.1 km.h^{-1} représentant une différence de 18.2 %. Les filles ayant le statut de professionnelle tirent en moyenne à 70.7 km.h^{-1} (± 2 km.h^{-1}) lors d'un tir puissant et à 48 km.h^{-1} (± 6.7 km.h^{-1}) soit une différence de 22.7 km.h^{-1} représentant une différence de 32.1 %. Ainsi, les plus grandes différences de vitesses entre le tir fort et le tir précis se situent pour le groupe "Professionnelle" et le groupe "Nationale".

En ce qui concerne la comparaison des autres vitesses segmentaires, les résultats ne sont pas significatifs pour les vitesses segmentaires entre tir fort et tir précis, hormis entre le poignet et la vitesse de la balle. En effet, suite au test Anova à mesures répétées et au test de Scheffé, nous pouvons constater que les résultats de la moyenne de la vitesse de la balle et celle de la vitesse du poignet sont significatifs ($p < 0.01$) dans le cas du groupe "Centre de formation" et très significatifs ($p < 0.001$) dans les groupes "Professionnelle" et "Nationale". Cela signifie donc que la vitesse engendrée par la balle est dépendante de la vitesse du poignet : s'il n'y a pas de vitesse dans ce dernier, la balle n'en aura pas non plus.

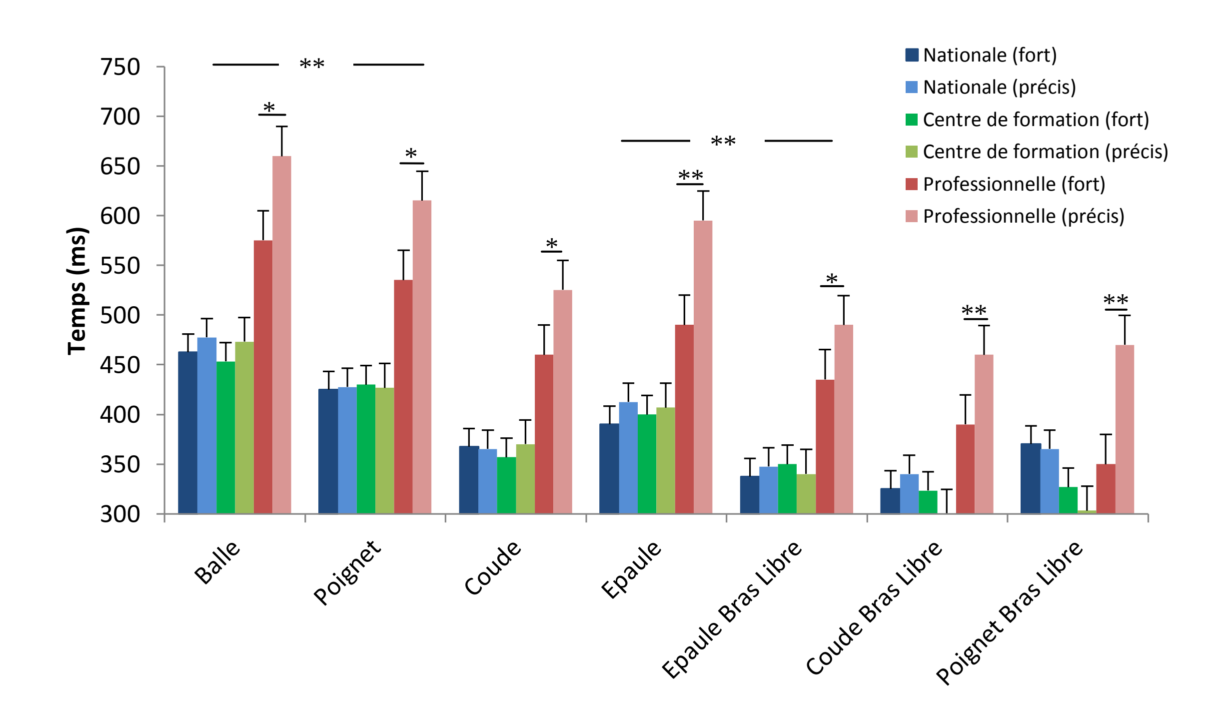
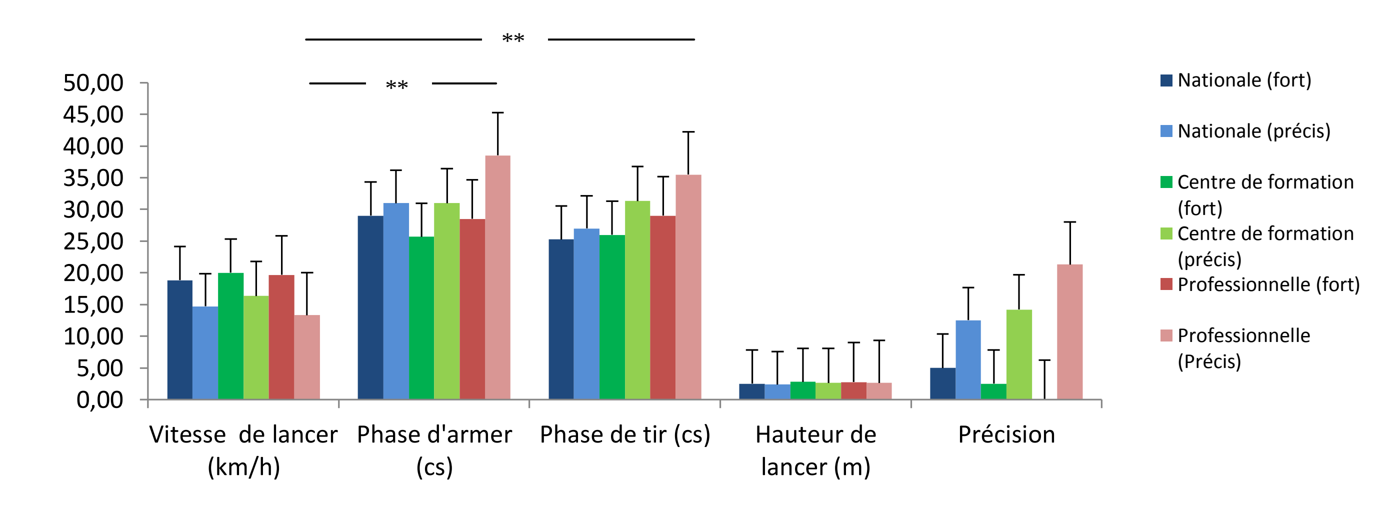


Figure 26: Comparaison inter-groupale du temps (ms) entre le début du mouvement et l'arrivée du pic de vitesse de chaque articulation entre les tirs forts et précis

Comme dans les cas précédents, le test Anova à mesures répétées met en évidence l'antériorité de tous les segments par rapport au pic de la balle. La balle est donc le dernier des éléments à atteindre son pic de vitesse et ceux pour les trois groupes et quelle que soit la contrainte (tir fort ou précis). De la même manière, ce test est significatif ($p < 0.01$) quant à l'antériorité du pic de vitesse du poignet par rapport à celui de la balle pour les trois groupes à raison de 33.2 ms (± 4.4 ms) pour le tir fort et de 68 ms (± 0.4 ms) pour le tir précis.

Dans la même logique, le test Anova met aussi en évidence l'antériorité du pic de vitesse de l'épaule bras libre sur celui de l'épaule. Les résultats sont significatifs ($p < 0.01$) pour les trois groupes et sous les deux contraintes. En moyenne, le pic de l'épaule du bras libre est atteinte 52.4 ms (± 2 ms) avant celui de l'autre épaule pour les tirs puissants et 74.4 ms (± 3.2 ms) pour les tirs précis.

Enfin, les résultats obtenus grâce au test post-hoc sont significatifs (au minimum $p < 0.01$) pour le groupe "Professionnelle" entre les tirs forts et les tirs précis. Donc, l'organisation et l'ordre d'apparition des pics de vitesses de chaque segment restent les mêmes qu'il s'agisse d'un tir fort ou d'un tir précis pour les athlètes du groupe "Professionnelle". Elles ralentissent simplement le geste d'une contrainte à l'autre. A l'inverse, pour les filles des groupes "Centre de formation" et "Nationale", les résultats ne sont pas significatifs. En moyenne, elles s'organisent de manière différente pour réaliser un lancer fort et un lancer précis.



<u>Figure 27:</u> Histogramme comparatif de la vitesse de la balle par rapport à la hauteur, du temps des phases de lancer et de la précision pour les trois groupes selon les contraintes

En ce qui concerne les relations entre les phases, la vitesse et la hauteur de lancer, aucun résultat n'est significatif hormis la comparaison entre les phases de tir et la vitesse du lancer du groupe "Professionnelle". En effet, ces derniers sont significatifs ($p < 0.01$), ce qui suit la logique des tests relatés dans la figure 32. En effet, les professionnelles réalisent exactement le même geste lors d'un tir fort et d'un tir précis, elles ralentissent simple le mouvement en commençant par la phase d'armer. Il n'existe aucun lien significatif entre la vitesse de balle et la précision sur la cible.

En comparant les données obtenues avec les différents départs (3 pas, dribble + 3 pas, 1 pas), les résultats nous montrent qu'il n'y a aucune différence significative d'organisation ou de vitesse lors des tirs précis comme pour les puissants. Nous pouvons observer simplement moins de hauteur et de vitesse pour les tirs avec un départ à un seul pas que pour les deux autres. Cette différence, restant non significative, est simplement due au manque d'élan avant l'impulsion.

Pour finir avec les résultats, les données obtenues grâce au système de caméra optoélectroniques Vicon S10 n'ont pu être exploitées. En effet, elle permettait d'obtenir l'emplacement du marqueur dans les trois dimensions en même temps sous une fréquence égale à 100 hertz. Le système "Digitalisation 32" traite les données que dans un seul plan à la fois à une fréquence de 25 hertz d'où la difficulté de mettre en corrélation les données obtenues avec un système et l'autre.

V- Discussion

Ainsi, l'étude nous a montré de manière significative que le lancer à bras cassé qu'est le tir de handball se réalisait d'une manière bien particulière. Qu'il s'agisse d'un tir fort ou d'un tir précis, les résultats nous montrent qu'une logique est présente dans l'ordre d'apparition des pics de vitesses de chaque segment. En effet, avec moins de 5 % d'erreur, nous pouvons énoncer que le pic de vitesse de l'épaule du bras libre apparaît avant le pic de vitesse du coude lanceur suivi par celui du coude puis du poignet et de l'épaule. Chez certain sujet, le pic de l'épaule du bras libre se réalisait avant le pic de l'épaule du bras libre. Il est aussi clairement mis en évidence que le dernier pic du mouvement complet est celui de la balle.

L'étude a permis de constater que la vitesse de balle était en corrélation avec la vitesse engendrée par le poignet. En effet, le poignet représente en moyenne 73.65 % (± 5.75%) de la vitesse de la balle. De plus, l'expérience affirme que la vitesse de la balle est en lien avec le temps de la phase de l'armer et de tir quel que soit le niveau d'expertise des sujets. En effet, lorsque ces deux dernières sont courtes, la vitesse de balle est plus grande au détriment de la précision, bien que la relation entre ces deux derniers paramètres ne soit pas significative.

Les contraintes mises en place sur la nature du départ de l'action ne sont pas significatives. Ces dernières n'induisent aucun changement sur l'organisation segmentaire ainsi que sur la vitesse de balle. Quelques changements sont pour autant à mettre en évidence sur la hauteur du lancer et la vitesse de lâcher de balle sous la contrainte d'un seul pas d'élan.

Enfin, l'expérience a mis en évidence que la production du geste était automatisée chez l'athlète de haut niveau par le biais de la comparaison des temps d'arrivée des pics de vitesse des segments. Une logique d'organisation segmentaire est donc normalisée pour les athlètes du groupe "Professionnelle". Quelle que soit la vitesse mise dans la balle, le geste reste le même.

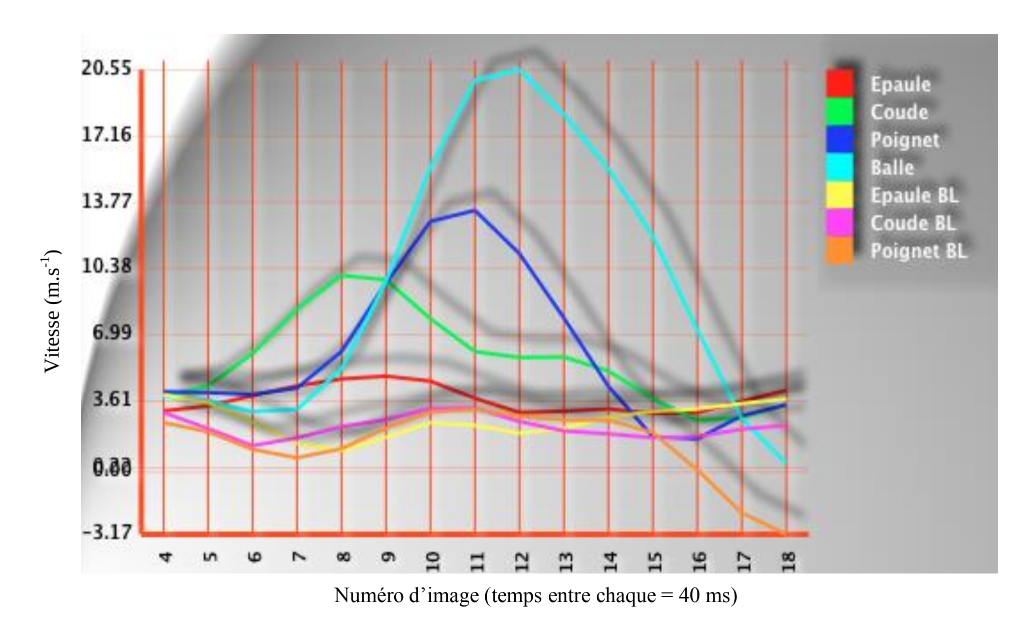
Ainsi, les résultats vont donc dans le sens de notre hypothèse de départ. Des variations existent dans l'organisation segmentaire selon la vitesse de lancer de balle : plus l'athlète essaie d'être précis et plus une organisation distale se met en place. En effet, ces variations existent dans les groupes "Nationale" et "Centre de formation". Lors d'un tir précis,

l'athlète va s'appuyer essentiellement sur ses articulations distales (poignet/coude) pour réaliser le tir que sur l'épaule. Tel une personne réalisant une action précise (pointer un point avec un stylo, écrire, peindre…), le sujet va "verrouiller" ses articulations proximales (épaules, bassin…) et rendre mobile celles distales.

De même, les résultats obtenus à l'expérience suivent la même logique que les données obtenues dans la littérature. En effet, concernant l'organisation segmentaire, l'étude portée par Fradet (2003) sur l'étude complète du tir de handball en appui qui permettait de préciser les spécificité cinématiques et dynamiques de ce geste par rapport aux autres lancers à bras cassé, a montré que l'enchaînement segmentaire ne se traduit pas par une succession de pics de vitesse linéaire des articulations proximales à distales : le pic de vitesse linéaire du coude apparaît avant celui de l'épaule lanceur. Quel que soit le groupe, le pic de vitesse linéaire de l'épaule se réalise 40 ms (± 10 ms) avant le lâcher de la balle, celui du coude 60 ms (± 20 ms). Dans notre expérience, on retrouve à peu près les différences énoncées par Fradet entre ces articulations (31.2 ms de différence entre l'épaule et le coude ; 68.8 ms de différence entre l'épaule et le lâcher de balle). D'autres scientifiques tels que Delamarche ou Dauty ont aussi mis en évidence la présence d'un non respect de la séquence proximo-distale lors du tir au handball.

Du point de vue biomécanique, Allard et Blanchi (2000) ont mis en évidence la notion de "séquence proximo-distale" (séquence P-D). Autrement dit par ces mêmes auteurs, la séquence P-D correspond aux trois principes fondamentaux liés aux mouvements segmentaires : la distribution des masses segmentaires, l'ordre d'intervention segmentaire et sommation des vitesses linéaires des articulations. Le premier de ces principes énonce que les segments les plus lourds (cuisses, bras) sont plus près de l'axe du tronc que les segments légers (pieds, mains). Le second principe explique que l'humain va solliciter les segments les plus lourds, les plus proches du tronc en premier pour bien effectuer le mouvement. Le dernier principe met en évidence que la vitesse linéaire de l'engin projeté (ici le ballon) est égale à la somme des vitesses linéaires aux articulations impliquées. Cette séquence P-D a été longuement étudiée et prouvée dans les lancers à bras cassé tel que le base-ball ou le javelot. A l'inverse, très peu d'études se sont intéressées au tir en handball ou en water-polo, et aucune ne s'est penchée sur la description de cette organisation segmentale au niveau du membre supérieur lors du tir. Van der Tillar et coll. (2004) se sont intéressés à mesurer les vitesses

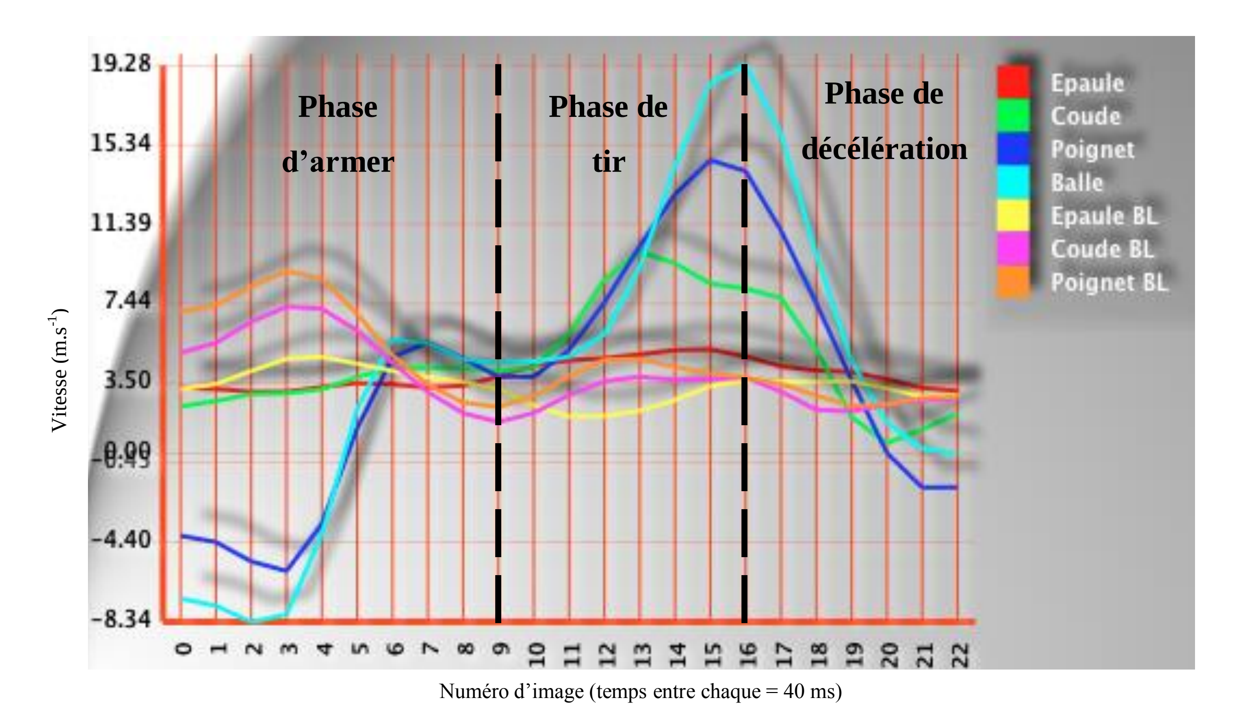
linéaires maximales et les vitesses angulaires maximales des articulations, entre la ligne d'épaules et le poignet, chez des joueurs de handball de haut niveau (trois jouant en deuxième division française et les trois autres au meilleur niveau de leur catégorie), afin de déterminer si cette séquence P-D est observable lors du tir en handball. Les résultats montrent que pour les vitesses linéaires de l'épaule, du coude et du poignet du « bras tireur », le concept de la séquence P-D ne s'applique à aucun des six joueurs de handball de cette étude.



<u>Figure 28:</u> Evolution des vitesses linéaires de chaque articulation lors de la phase de tir par le biais du logiciel "Digitalisation 32"

Ainsi, les sujets de notre expérience agissent de la même manière comme nous pouvons le constater sur la figure 34. Le pic du coude (image 8) se situe en amont du pic du coude (image 11) suivi du pic de la balle (image 12) alors que le pic de l'épaule s'en retrouve retardé (image 9). La différence comparée aux autres études sur les lancers à bras cassé, se porte sur l'importance du bras libre (bras non porteur de la balle). A la fin de la phase de l'armer, d'après Fradet, l'épaule lanceuse vient de réaliser une rotation externe pour amener le bras en abduction et éloigner la balle le plus loin du corps vers l'arrière. Au passage du bras en adduction, l'épaule réalise une rotation interne. Ces deux derniers mouvements se réalisent dans le sens du déplacement du tireur raison pour laquelle les valeurs des vitesses augmentent. A l'inverse, l'épaule du bras libre, placée en amont du reste du corps à la fin de la phase de l'armer va être tirée vers l'arrière du corps. Ainsi son déplacement sera inverse à celui du reste du corps, raison pour laquelle les vitesses du bras libre diminuent durant la phase de tir. Leur pic sera donc inversé par rapport à ceux du bras lanceur. De ce fait, il est apparu très

significativement que le pic de cette épaule non porteuse de balle intervenait avec une avance de 52.22 ms (± 2 ms) sur l'épaule lanceuse et de 21.11 ms (± 1.6 ms) sur le coude lanceur. Toujours dans l'analyse intra-segmentaire du bras lanceur, nous pouvons constater un écart présent entre l'apparition du pic du coude et celui du poignet de l'ordre de 66.8 ms (±14.4 ms).



<u>Figure 29:</u> Digitalisation d'un tir en suspension de handball

Dans le cas de la figure 35, nous avons la décomposition complète d'un tir. Lors de la phase d'armer, il n'existe que peu de logique d'organisation segmentaire. La première se situe sur le fait que la vitesse du poignet et beaucoup plus faible que celle du coude. Les vitesses de la balle et du poignet diminuent jusqu'à être négatives puis augmentent brutalement. Suite à cela, un plateau est présent sur la fin de la phase d'armer et le début de la phase de tir. Il s'agit ni plus ni moins de la phase où le bras lanceur se situe en abduction horizontale maximale et où le corps reste statique sur quelques millisecondes. Durant ce temps, le tireur prend les informations sur son environnement (repères spatio-temporels sur le placement et le déplacement des adversaires et de la cible à atteindre) et prend une décision sur l'action à réaliser. En ce qui concerne le grand écart entre les vitesses du coude et du poignet, à ce moment, la rotation du bras amène le coude vers l'extérieur. Il y a donc étirement du triceps, du deltoïde et du grand pectoral impliquant une réponse myotatique de ces muscles et expliquant en partie le retour du bras vers l'avant du corps. Le coude est donc lancé et à la fin de la rotation du bras, le poignet suit le mouvement expliquant ainsi l'écart entre les deux pics.

Biomécaniquement parlant, en revenant sur la phase de tir, le pic de l'épaule devrait être placé avant ceux du coude et poignet : l'articulation proximale une fois son pic atteint est verrouillée, transmet sa vitesse et sert d'appui à l'articulation suivante, en l'occurrence le coude. Pour autant ce n'est pas le cas. Comme dit précédemment, le pic de vitesse de l'épaule non porteuse de balle se situe en amont du pic du coude voire est inversement proportionnelle au coude. Ainsi, c'est cette épaule qui est verrouillée et qui sert d'appui au coude pour transmettre sa force au poignet. L'épaule bras libre sert donc d'appui au coude lanceur qui emporte son épaule dans sa rotation vers l'avant.

Nous venons donc d'expliquer comment le handballeur s'organise dans son tir pour être le plus efficace, mais alors pour quelles raisons existe-t-il des différences de performances sur la hauteur de saut et sur la vitesse de balle entre un tir fort et un tir précis si l'organisation segmentaire ne varie pas ?

En ce qui concerne l'analyse tir fort/tir précis, elle résulte simple sur la force induite dans tout le corps. Pour la hauteur, la principale raison est due à la force emmagasinée dans les jambes mais aussi sur l'utilisation des bras lors de la phase d'armer. Malgré la tenue de la balle, l'abduction du bras dans l'espace arrière agit comme un bras libre. Pour en revenir à l'athlétisme, dans une situation d'appui, comme lors de l'impulsion en longueur, en triple et en hauteur, la mobilisation des bras et de la jambe libre vers le haut aura d'abord pour effet, d'accroître la qualité de l'action que l'appui génère contre le sol. La mobilisation des segments vers le haut et/ou vers l'avant aura d'abord pour effet d'engendrer une réaction sur le centre de gravité (l'athlète pèsera momentanément plus lourd) d'où augmentation de la pression et donc de l'action contre le sol. Puis, cela permettra de participer à l'allègement par transfert d'inertie lorsqu'en fin de mobilisation le segment libre est "fixé" (fin de la phase d'armer). Une fois l'impulsion commencée et donc transmise au bassin, la fixation de ces segments participera à l'allègement car l'inertie dont ils étaient dotés par cette projection sera transmise au centre de gravité, d'où allègement. Enfin, cette mobilisation-fixation permettra d'accroître la hauteur d'envol, puisque elle aura légèrement déplacé le centre de gravité vers le haut, proportionnellement à la masse des segments mobilisés. Donc, théoriquement, plus je suis puissant et plus je vais vite avec mes bras et plus je vais m'alléger pour l'impulsion et donc sauter haut. Ne cherchant pas de puissance lors des tirs précis, la hauteur en est donc moindre.

Malgré tout, cette expérience présente quelques limites. En effet, la première et de loin la plus importante concerne la taille de l'échantillon. Malgré le nombre important de tirs réalisés par chaque joueuse (24 tirs en tout), le groupe reste peu important pour parler avec certitude. Les joueuses ont quasi toutes appris et évolué au même endroit expliquant peut être les similitudes inter-groupales.

La deuxième limite, qui s'efface avec les résultats obtenus par d'autres scientifiques se situe sur l'exactitude de l'action réalisée. Etant un mouvement très rapide (500 ms en moyenne) et agissant dans les trois dimensions (l'épaule est pluri-articulaire), l'utilisation d'un système permettant de relevé l'activité électrique des différents muscles nous permettrait d'assurer la contraction des muscles nécessaires tel ou tel mouvement et donc d'assurer l'ordre d'arriver des pics de vitesses de chaque segment.

La troisième limite de notre étude se situe sur la zone située. Le tir en suspension est une action complète du corps : le bras tireur n'agit pas seul. Il faudrait donc réussir à mettre en évidence l'interaction du reste du corps à cette étude.

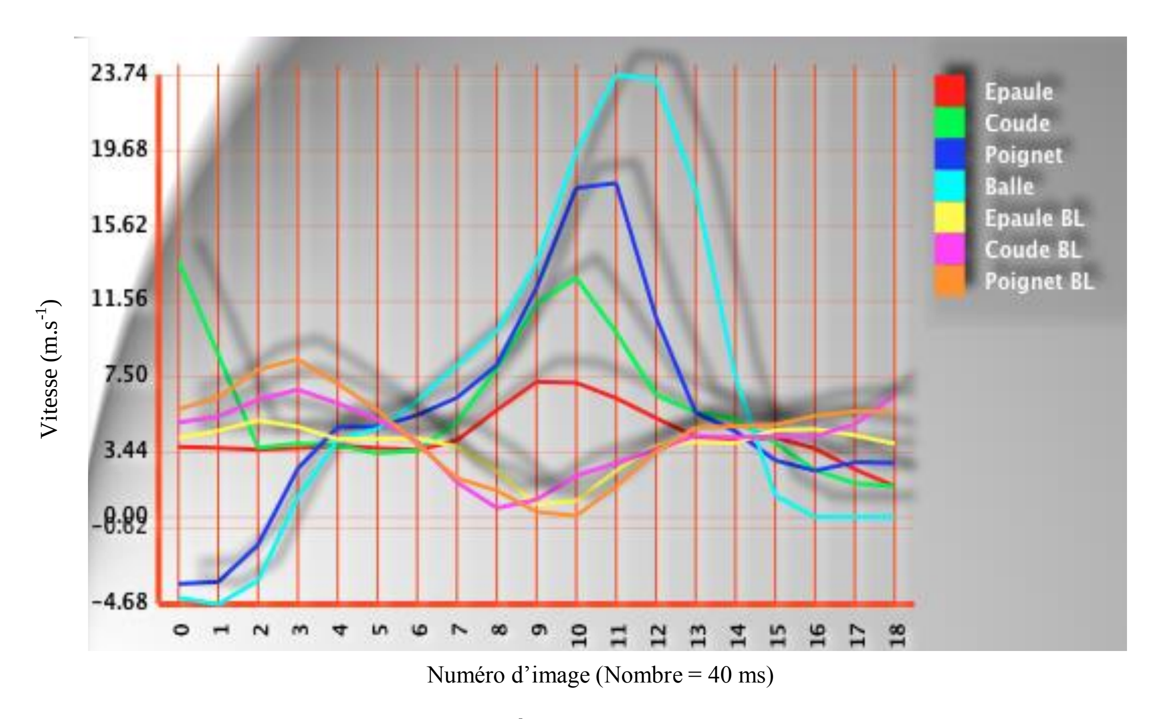
Enfin, la dernière limite se situe l'interaction du sujet avec son environnement. Dans notre cas, le sujet est dans une situation qu'il ne retrouvera pas souvent en match. En effet, le tir peut se retrouver changer dans sa nature par la présence d'adversaire et de partenaire (éviter un contre défensif, être toucher en l'air par un défenseur, la présence d'un gardien).

VI- Application pratique

D'après les résultats obtenus à l'expérience et suite aux études portées sur la question, l'efficacité du tir est l'une des préoccupations majeures dans l'entraînement de haut niveau en handball, et un intérêt particulier est accordé à la recherche du geste optimal de tir (puissant et précis). Il a été démontré, dans les travaux d'Allard e Blanchi (2000) sur les activités de lancers par-dessus l'épaule (le javelot, le base-ball, le water-polo…) que l'action de tir la plus rapide résultait de la mobilisation de la séquence proximo-distale (séquence P-D). La séquence P-D est un mouvement multi-segmentaire où les segments proximaux, qui sont aussi les plus lourds, seront mobilisés avant les segments distaux, selon cet ordre d'intervention. Dans le cas présent, le bras sera en mouvement avant l'avant-bras, puis le poignet interviendra ensuite. Lors de cette séquence, les segments proximaux atteignent leur vitesse linéaire maximale avant les segments distaux. La vitesse linéaire de l'engin projeté (ici le ballon) est égale à la somme des vitesses linéaires aux articulations impliquées. Ainsi, une vitesse maximale de lancer du ballon sera déterminée par les caractéristiques cinématiques de la mobilisation des segments impliqués dans ce geste complexe.

Comme vu précédemment, la séquence P-D n'est donc pas mise en évidence en handball, contrairement au lancer de javelot, ou au base-ball. En effet, le coude atteint sa vitesse maximale linéaire avant l'épaule et les auteurs soulignent que la somme des vitesses linéaires des articulations impliquées dans le geste sera moins élevée au moment du tir. Cependant, dans des études précédentes (Barrentine et coll., 1998), au sujet de lancers par-dessus l'épaule en base-ball, il a été montré que le mouvement le plus efficace, en termes de vitesse de projection de balle, résultait d'une séquence P-D. La raison pour laquelle les joueurs de handball adopteraient une conduite spécifique doit être mise en relation avec le fait qu'ils évoluent dans des conditions différentes de celles des tireurs des autres études (défenseurs à éviter, gardien de but à battre, protection contre des coups possibles…). En effet, au javelot ou en base-ball, aucun adversaire direct ne vient s'opposer au geste du lancer. De plus, les lancers de ces sports se réalisent en appui tandis que dans notre cas, la suspension modifie grandement le travail réalisé au niveau de l'épaule. Une autre hypothèse retenue pour expliquer pourquoi les joueurs de handball ne mettent pas en pratique la séquence P-D réside dans le fait que celle-ci produit des niveaux élevés de force localisés dans les articulations de l'épaule et du coude qui en seraient à l'origine de blessures chez les tireurs (Atwater, 1979). Il

semblerait ainsi qu'avec une modification de la séquence P-D chez les handballeurs, les contraintes appliquées sur les articulations soient moins importantes et, par conséquent, les blessures moindres. En effet, parmi les athlètes passant à travers notre étude, la seule utilisant correctement le concept P-D est l'athlète qui tire le plus fort (85.6 $km.h^{-1}$ soit 15.4 $km.h^{-1}$ de mieux que la moyenne). A contrario, elle est la seule du groupe à se blesser régulièrement au niveau des membres supérieurs (tendinite, luxation de l'épaule, instabilité au niveau du coude…).



<u>Figure 30:</u> Courbes représentatives des vitesses segmentaires du sujet AD

L'entraînement de handball n'est pas centré sur la mise en application du système P-D lors du tir. Cette observation va de pair avec le constat fait lors de ces dix dernières années, selon lequel les entraîneurs de haut niveau en handball laissent les joueurs déterminer leur propre façon de tirer. En conséquence, les handballeurs mettent en place la manière de tirer la moins traumatisante pour leur membre supérieur, et ne retiennent pas la modalité gestuelle la plus efficace par rapport à la vitesse de projection du ballon.

Il est donc intéressant pour les entraîneurs d'orienter le comportement de leurs joueurs lors du tir vers cette organisation segmentale spécifique, qui ne produit pas le niveau de force le plus élevé possible, mais qui permet cependant d'obtenir un compromis optimal entre force, précision et traumatismes au niveau de l'épaule. Par exemple, on pourrait suggérer

certains exercices comme ceux qui suivent pour favoriser l'apprentissage de cette organisation segmentale caractéristique chez les joueurs de handball.

Exercice 1 :

- objectifs : trouver le meilleur compromis entre la mise en application de la séquence P-D et les contraintes spécifiques aux joueurs de handball

- matériel : 1 ballon

- protocole : le joueur se place à distance de tir, arrêté (7-8 m) puis en course (9-12 m) et effectue des tirs avec des exigences de précision, en décomposant son geste et en le verbalisant comme suit : « J'arme mon bras en arrière et le ballon touche mes omoplates, la base de mon cou. Ensuite, je ramène mon coude vers l'intérieur (rotation interne de l'épaule) comme si je voulais toucher mon oreille avec mon poignet. Enfin, mon avant-bras se déplie dans le même axe que ma ligne de tir ». Le mouvement n'est pas uniforme, il est accéléré par le mouvement du coude en avant : dès que le coude passe en avant du corps, il crée une accélération qui mobilise le bras dans cet ordre : coude, épaule et poignet. « Je répète ce mouvement lors de chaque tir. »

- variables : changer les exigences de tir (avec ou sans gardien), ajouter des défenseurs et abandonner progressivement la verbalisation.

Intérêts : en situation écologique de tir, les joueurs de handball s'approprient l'organisation segmentale du tir, et ce d'autant plus en la verbalisant. Avec la répétition, ce geste va devenir automatique, permettant ainsi une protection de l'épaule lors du tir (rappelons qu'en handball, c'est l'articulation la plus souvent traumatisée).

Exercice 2 :

- objectif : rééquilibrer le rapport entre les agonistes et les antagonistes (i.e. rotateurs internes/externes de l'épaule)

- matériel : un élastique de gymnastique

- protocole : l'élastique est fixé à un support solide (mur, poteau) par rapport auquel le joueur se place de dos. Il prend l'extrémité de l'élastique et simule un tir en appui un pied en avant de l'autre, en contrôlant lentement le retour du bras.

- intérêts : cet exercice a pour but de permettre à l'athlète d'automatiser cette organisation segmentale du tir. Mais ici, l'intérêt est aussi d'ordre préventif : en travaillant en excentrique lors du retour du bras, les rotateurs externes de l'articulation de l'épaule sont renforcés, ce qui permettrait de diminuer le déséquilibre souvent rencontré dans les sports d'armés de balle entre les qualités musculaires des rotateurs internes et externes de l'épaule (Dauty et coll., 2005). Grâce à ce travail, l'athlète obtient des gains de force au niveau des agonistes et améliore le rôle freinateur des antagonistes et donc limite les lésions musculaires.

Suite à l'utilisation du logiciel "Digitalisation 32" et aux études menées nous avons pu relever des points clés sur le déroulement d'un tir au handball. Grâce au logiciel et au tableau ci-dessous, les courbes obtenus seront facilement lisibles. Si une anomalie intervient lors de la phase de tir dans la vitesse segmentaire de l'un des segments, l'entraîneur sait directement quelle méthode utiliser avec l'athlète dans un but d'optimisation de la performance.

Articulation	Problèmes	Explications	Orientations pédagogiques
Doigts	Peu ou pas de vitesse Présence d'un creux dans la courbe	Mauvaise extension/flexion des doigts au lâcher de la balle	Travail d'adresse et de coordination des doigts (à vide, crayon, boule, balle…) Travail de préhension (à 2, 3, 4, 5 doigts) Travail de flexion/extension à vide, aidé (étirement), contre résistance
Poignet	Peu ou pas de vitesse Présence d'un creux dans la courbe	Mauvaise extension/flexion des du poignet au lâcher de la balle	Travail de roucoulette juste en poignet Circumduction du poignet avec balle en main Lancer franc (basket-ball) avec juste le poignet Travail de flexion/extension du poignet avec barre de musculation
Coude	Pas de baisse de la vitesse avant la phase de tir	Extension avant-bras non réalisée en début de geste Pas d'abduction du bras	Travail sur de l'ouverture du bras à vide, contre résistance, aidée Travail de début de geste avec mise en arrière, bras tendu Travail de galop avec importance placée sur la position arrière du bras (armer)
	Peu ou pas de vitesse Présence d'un creux dans la fin de la courbe	Flexion/Extension de l'avant-bras non réalisée(s) en fin de geste	Travail de tirage en poulie (musculation) avec geste finit bras tendu devant soi Galop avec importance mise sur le retour du bras porteur de la massue
Epaule	Peu ou pas de vitesse Présence d'un creux dans la courbe	Pas de rotation interne ou/et externe de la ceinture scapulaire	Travail de galop orienté sur le déplacement avant/arrière des épaules Fentes avec rotation des épaules à chaque pause de pied Travail de rotation de la ceinture scapulaire avec bâton Travail de suspension avec bras amené vers l'arrière du corps
Tronc	Peu ou pas de vitesse Présence d'un creux dans la courbe	Peu ou pas de flexion/extension du tronc	Travail de chute (accepter d'aller vers l'avant) Travail d'abdominaux/gainage Travail d'étirements des muscles du tronc (abdominaux, psoas, carré des lombes...)
Bassin	Peu ou pas de vitesse Présence d'un creux dans la courbe	Mauvaise rotation du bassin	Travailler sur la locomotion (marche, course) avec bassin qui se déplace Travail de foulée bondissante Travail de galop
Impulsion	Peu de temps d'envol	Manque d'explosivité Problème de coordination Orientation segmentaire distale mauvaise (pose du pied)	Travail de pied, impulsion à une ou deux jambes Travail de musculation en pliométrie Travail de galop

Figure 31: Orientations pédagogiques selon les incohérences d'organisation segmentaires décelées

Enfin, l'antériorité du pic de l'épaule du bras non porteur de balle par rapport à celui du coude porteur de balle et la postériorité du pic de l'épaule lanceuse par rapport à ces deux précédents dans notre expérience continue de relever l'organisation segmentaire différenciée des handballeurs face au concept P-D. De plus, cette hiérarchie particulière nous prouve que le tir de handball ne s'effectue pas seulement sur une coordination intra-segmentaire mais bien sur une coordination inter-segmentaire. Le mouvement du bras porteur de balle et la vitesse de balle sont dépendant du placement et du déplacement du membre libre. Son rôle est plus important que celui d'un simple gestionnaire d'équilibre en l'air (stabilise le corps, compense les rotations du corps). Grossièrement, pour tirer fort dans cette activité, il ne faut pas que se muscler que le bras lanceur mais bien les deux membres. La musculation du handballeur doit donc se pencher sur le travail réalisé à deux bras. La musculation bilatérale devient donc primordiale pour améliorer la puissance du tir. La musculation unilatérale juste sur le bras porteur de balle n'a aucun intérêt. Le gain de force ou d'explosivité va se réaliser mais un déséquilibre va se créer entre les deux bras néfaste et inutile à la bonne coordination du mouvement.

VII- Conclusion

De par notre expérience, nous venons de prouver que le tir de handball suivait une logique d'organisation segmentaire différente de la séquence proximo-distale énoncée dans les théories de lancers à bras cassé. Quelle que soit la nature du départ de l'action, cette dernière ne transforme pas la logique d'action. Les seules transformations présentes vis-à-vis de ces contraintes se situent sur la hauteur de lancer et la vitesse de balle. Pour autant ces changements restent minimes et non pertinents. Le lancer à bras cassé qu'est le tir de handball porte donc la spécificité de ne pas respecter est la séquence P-D qui est un mouvement multi-segmentaire où les segments proximaux sont mobilisés avant les segments distaux. Avec le bras tireur, l'épaule ; segment le plus proximale du membre supérieur, est recruté après le coude et parfois même après le poignet. En réalité, les résultats nous montrent que le bras porteur de balle s'appuie sur l'épaule non porteuse de balle pour réaliser sa rotation interne. Le coude une fois dans l'espace avant va amener l'épaule au même endroit.

Ces conclusions ont pu être tirées d'une analyse biomécanique du lancer à bras cassé dans une seule dimension. Pour porter l'analyse encore plus loin, il faudrait vérifier si ces résultats se retrouvent par le biais d'une analyse tridimensionnelle.

La principale limite de cette étude porte sur l'éloignement de la situation expérimentale par rapport aux actions engagées sur les parquets des salles de sport. En effet, par l'importance des informations dans une situation type compétition (action du défenseur, du gardien de but…). Effectivement, la présence de ces variables explique le fait que le tir de handball soit une habileté ouverte. Le tir de water-polo, la passe au football ou encore le tir en suspension au handball sont des habiletés ouvertes, où le geste doit s'adapter au contexte, à l'environnement. A l'inverse le lancer de javelot ou le lancer au base-ball sont des habiletés fermées c'est-à-dire que l'environnement n'intervient pas sur le geste. Ainsi, nous pouvons mettre en lien ces habiletés avec la séquence proximo-distale. En effet, si l'habileté est ouverte, l'adaptation de l'athlète se doit d'être maximale. Par cette grande variabilité de situation, l'apprentissage du concept P-D ne se réalise pas. Le but n'est pas d'être le plus précis ou le plus fort mais bel et bien le plus efficace. A l'inverse, lors que l'efficacité signifie être le plus fort (base-ball, javelot), le concept P-D est bien présent. Etant le moyen de développer le maximum de force, c'est la raison pour laquelle les lanceurs en habiletés fermés agissent de cette manière.

Pour résumé, lorsqu'un lancer à bras cassé est catégorisé comme habileté ouverte, il ne suit pas la séquence proximo-distale définie en 2000 par Allard et coll.. A l'inverse si le lancer à bras cassé est catégorisé come habileté fermée, il suit la séquence proximo-distale.

Mais alors est-ce que cette organisation segmentaire si caractéristique au handball se retrouve sur les tirs des postes avancés (ailier, pivot) ? Est-il possible qu'une musculation spécifique de l'épaule non porteuse de la balle permettrait de développer la vitesse de lancer pour le handball sans que la notion de transfert ne s'effectue d'un bras à l'autre ?

VIII- Bibliographie

Allard P., Blanchi JP., Analyse du mouvement humain par la biomécanique, *Editeurs Décarie,* 1996

Atwater AE., Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries, *Exercise and Sports Sciences Reviews, 7 : p.43-85,* 1979

Babault N., Mangematin X., Analyse des efforts en handball, *Newsletter du Centre d'expertise et de la performance Gilles Cometti n°3, p.7-11,* 2010

Dauty M., Kitar E. et coll., Relation entre le lancer de balle et la force isocinétique des rotateurs d'épaule chez le handballeur de haut niveau, *Science et Sports, 20 : p.300-303,* 2005

Delamarche P., Biomécanique du tir au handball, analyse au niveau du bras lanceur, *Thèse de l'Université de Paris XI UFR Staps Orsay,* 1988

Delamarche P., Bideau B., Relevance of biological and biomechanical analysis in handball performance, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.129-134,* 2011

Fradet L., Analyse biomécanique, modélisation et simulation du tir au handball, *Thèse de l'Université de Rennes II UFR Staps,* 2003

Grimshaw P., Burden A., Biomécanique du sport et de l'exercice, *Editions DeBoeck,* 2010

Kapandji A.I., Tubiana R., Anatomie fonctionnelle : Tome 1, Le membre supérieur, *Editions Paris, Maloine,* 2011

Katjna T., Pori M., Justin I., Pori P., Psychological Characteristics of Slovene Handball Goalkeepers, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.73-77,* 2011

Laffaye G. Debanne T., Prediction of ball velocity during standing throw and gain of velocity obtained by cross over step, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.267-272,* 2011

Lopes A., Sequeira P., Morgado L., Madeira A., Ildefonso F., Pires B., Cardoso M., Dinis J., Interaction in 3D Virtual Worlds : An integrated approach of emerging technologies in handball, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.279-281,* 2011

Manchado C., Ferragut C., Abraldes A., Rodriguez N., Alcaraz P., Villa H., Ball Speed in Women Handball Players : Analysis of different playing positions, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.148-150,* 2011

Marczinka Z., What's the difference ? - Coaching female and male handball players, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.89-93,* 2011

Mikkelsen F., Olesen M.N., Etude physiologique du Handball, *Editions Trygg Hanwsa Stockholm,* 1976

Pieper H.G, Humeral Torsion in the Throwing Arm of Handball Players, *The American Journal of Sports Medecine, vol.26 n°2, p.247-253,* 1998

Pori P., Stirn I., Jeler M., Bon M., Sibila M., The influence of feedback on the change of the ball velocity of the set shot in the team handball, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.303-307,* 2011

Orth D., Davids K., Araùjo D., Renshaw I., Passos P., Effects of a defender on run-up velocity and ball speed when crossing a football. *European journal of sport science, p.316-323,* 2014.

Schmidt R.A., Apprentissage moteur et performance, *Editions Vigot,* 1993

Sosa P.I., Oliver J.F., Psychological charateristics of young handball players and his importance for handball coaches. *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.58-62,* 2011

Van den Tillaar R., The biomechanics of the elbow in overarm throwing sports, *International Sportsmed Journal n° 6, p.7-28,* 2005

Van den Tillaar R., Ettema G., A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing, *Journal of Sports Science and Medicine n°3, p.211-219,* 2004

Van den Tillaar R., Ettema G., A three-dimensional analysis of overarm throwing in experienced handball players, *Journal of Applied Biomechanics n° 23, p.12-19,* 2007

Wagner H., Pjusterschmied J., Von Duvillard S.P., Müller E., Performance and kinematics of various throwing techniques and skill levels in team-handball, *EHF Scientific Conference : Science and analytical expertise in handball, p.331-335,* 2011

Wirhed R., Anatomie et science du geste sportif, *Editions Vigot,* 1994

IX- Référence

X- Résumé

Cette étude cherche à comprendre le fonctionnement d'un tir au handball comment l'athlète s'organise au niveau des membres supérieurs pour réaliser un tir fort ou précis. Pour cela 10 joueuses confirmées (deux professionnelles, trois en centre de formation et cinq évoluant en nationale) âgées de 19.80 années (± 1.62 années), ayant une expérience de 8.30 ans (± 1.89 ans) dans la pratique du handball et devaient chaque deux séries de quatre tirs (une fort, l'autre précis) en suspension à 9 mètres d'une cible sous les trois contraintes suivantes :

- 3 pas + impulsion
- Dribble + 3 pas + impulsion
- 1 pas + impulsion

Les données ont été relevées grâce au système de caméras optoélectroniques Vicon S10 et par le biais de caméras simples, analyser par la suite avec le logiciel Digitalisation 32.

Les résultats tendent à dire qu'une logique interne à l'activité est en place quant à l'organisation du tir de handball. En effet, le tir en suspension ne suit pas la logique biomécanique qu'est la séquence proximo-distale. Les handballeurs agissent de la sorte pour optimiser la relation vitesse/précision et éviter au maximum les traumatismes liés au membre supérieur. Pour aller plus loin, la séquence proximo-distale s'appliquerait aux lancers de type habileté fermée (lancer de javelot) mais pas pour les lancers de type habileté ouverte (tir au handball).

Mots clés : Handball, biomécanique, séquence proximo-distale, Digitalisation 32, efficacité, lancer à bras cassé

XI- Annexe

	Taille (cm)			
NOM Prénom	Bras	Avant Bras	Epaule	Tronc
Sujet 1 (LB)	34	26	41	51
Sujet 2 (JL)	36	29	42	49
Sujet 3 (JoL)	34	28	41	46
Sujet 4 (MC)	33	30	44	50
Sujet 5 (MR)	34	27	41	46
Sujet 6 (AD)	32	25	44	46
Sujet 7 (HR)	34	26	43	47
Sujet 8 (JV)	34	28	43	49
Sujet 9 (Cp)	36	29	41	47
Sujet 10 (LN)	32	25	44	46
Moyenne	33,90	27,30	42,40	47,70
Ecart type	1,37	1,77	1,35	1,89

Figure 32: Tableaux récapitulatif des tailles segmentaires de chaque sujet

Mode d'emploi du logiciel Digitalisation 32 :



Mode d’emploi

Si nécessaire : frederic.duclos@free.fr

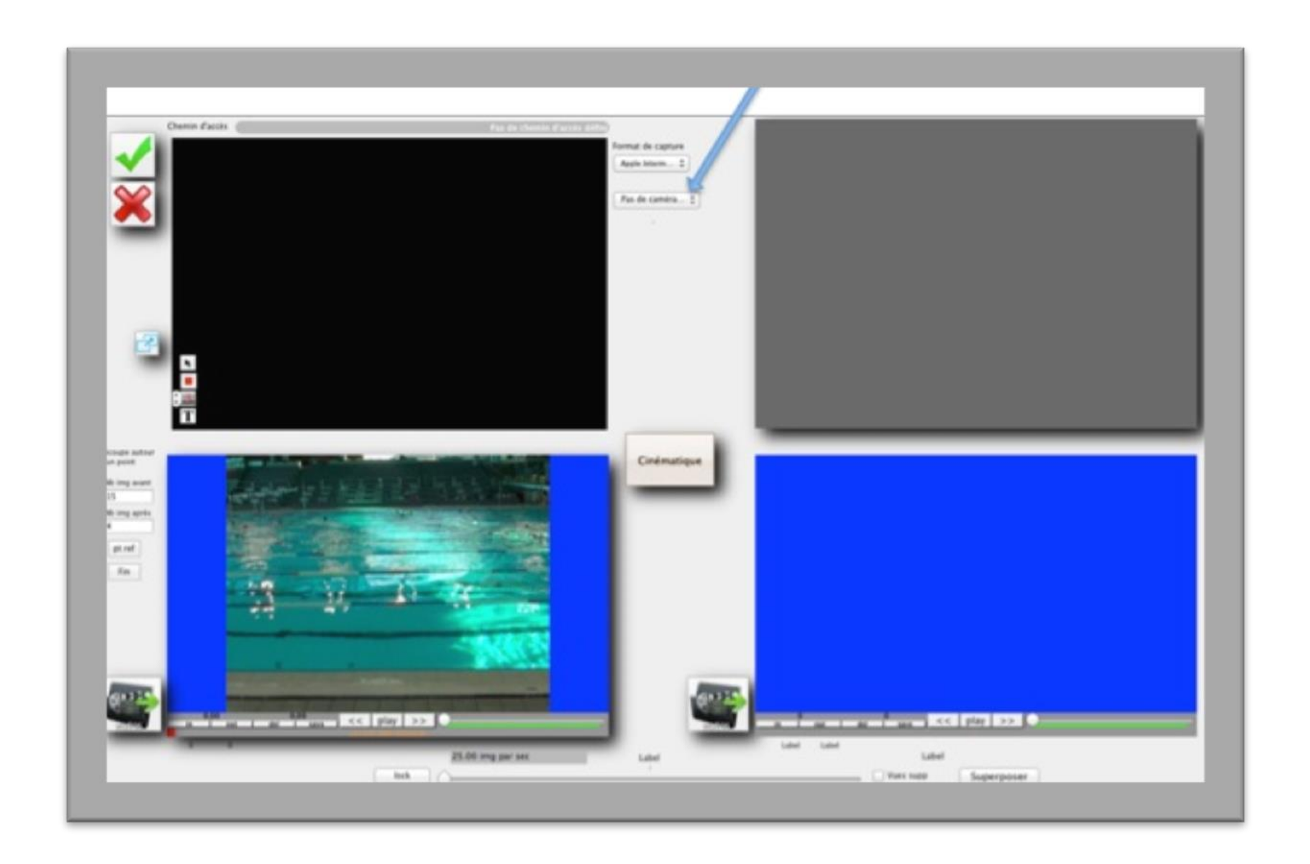
Procédure normale à suivre :

- Capture de la vidéo
- Import des rushs
- Etalonnage de la vidéo
- Superposition des vidéos
- Etude Cinématique d'une course
- Définition de l’échelle et des paramètres
- Définition des points à digitaliser
- Digitaliser
- Les graphes
- Archiver

Préambule : pour une digitalisation correcte, il faut absolument que la caméra n'ai de mouvements en rotation.

Capture de la vidéo

Avec cet icône, vous allez accéder à la page des traitements vidéo. Cliquez sur le pop-up "Pas de caméra" pour activer une webCam et laissez vous guider



Les boutons d'enregistrement ou d'arrêt d'enregistrement appaîtrons alors. Pensez bien à renseigner le lieu de stockage de l'acquisition video. Des boutons de dessin vous permettent d'ajuster votre caméra.

Subtilité pour ces boutons : ils sont actifs si on clique sur le bouton flèche qui devient de couleur rose. La flèche a disparue et est remplacée par un trait.

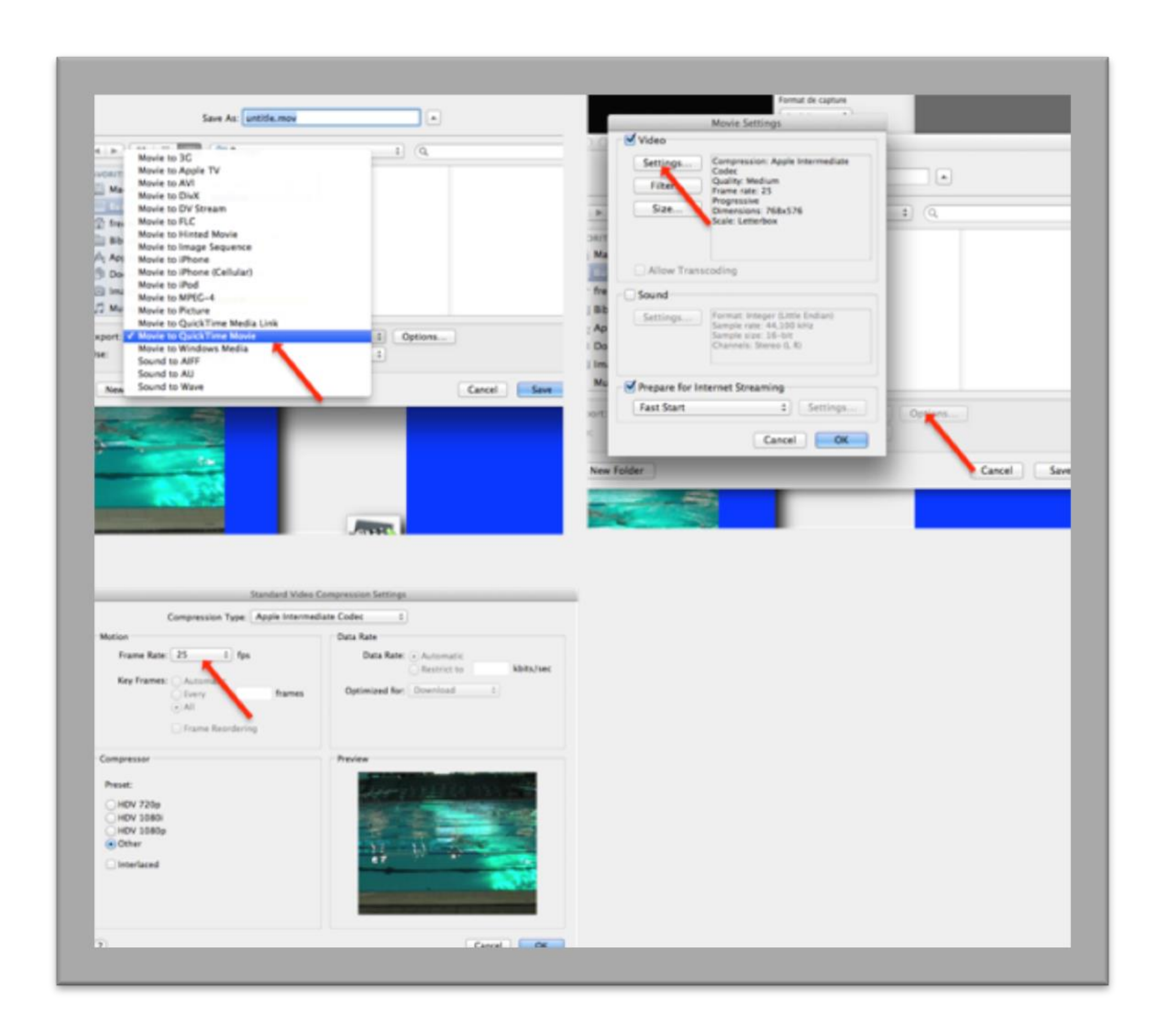
Pour le bouton texte : un seul texte ne peut apparaître (sinon, on ne voit plus rien !). Pour écrire dans ce cadre (vérifier si ce bouton trait est bien rose), cliquez à l'intérieur du cadre en haut à gauche, la bulle en bas à droite devient bleue. Pour le déplacer, cliquez au milieu (la bulle en bas à droite devient rose) et le faire glisser. Pour l'agrandir, cliquez à l'intérieur en bas à droite. La bulle en bas à droite reste rose donc vous pouvez étirer le cadre.

permet un live (visualisation du direct) en plein écran. Vous pouvez également vous servir des boutons de dessin. Faire ESC pour revenir à l'état normal.



IMPORTANT: l'acquisition avec une webcam est particulière. La durée entre chaque image peut être variable en fonction des variations de la luminosité. Cela peut engendrer des problèmes pour la digitalisation. Si, lorsque l'acquisition est finie, que la video capturée se place dans le cadre en bas à gauche, mais qu'en bas de ce cadre, le nombre d'images par seconde n'est pas un entier (il s'affichera alors en rouge), il faudra alors corriger cela. Pour ce faire, cliquer sur "save" et modifier le nombre d'images par seconde pour une

valeur inférieure.



Import des rushs

Les rushs sont les vidéos acquises via une caméra, sans traitement. Il est donc peut être nécessaire de faire une coupe pour obtenir la durée exacte de la séquence. Il en est de même pour une acquisition avec la webcam,.

Utiliser cette icone pour importer des videos : 

ou utilisez la vidéo faite à l'issue d'une capture webCam.

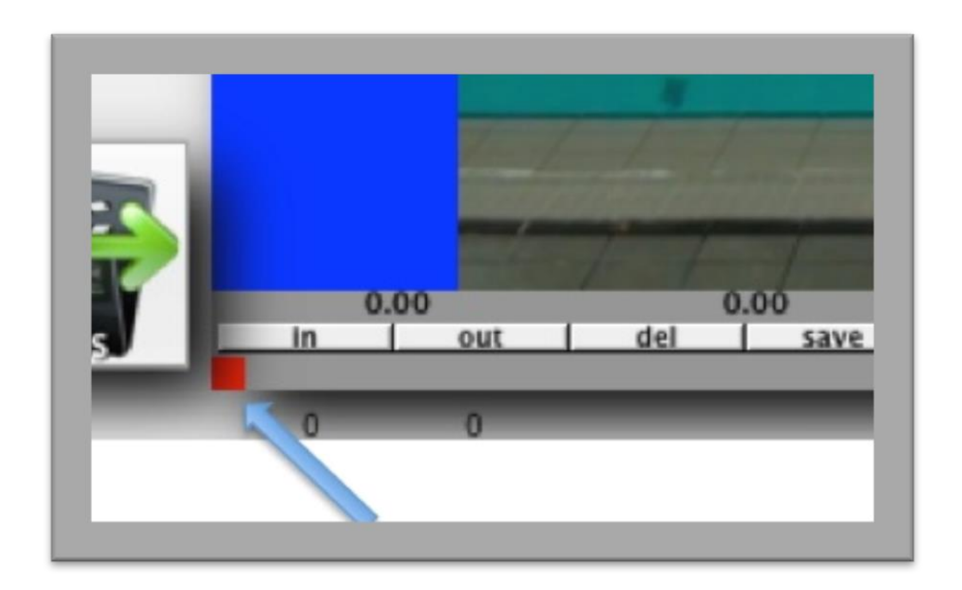
Assurez vous que le cadre de la video à le focus, c'est à dire qu'il est bien sélectionné en cliquant dessus. Un carré rouge doit apparaitre qui signifie que ce cadre à le focus et donc, dispose de toutes ses fonctionnalités. (Il en sera de même pour le cadre de droite).



Vous pourrez alors utiliser les flèches pour avancer ou reculer. Sur un trackball, vous pouvez également utiliser les 2 doigts simultanément vers le haut ou vers le bas.

En écartant les 2 doigts du centre vers l'extérieur, vous aurez la video en plein écran. Comme d'habitude, ESC pour revenir à l'état normal

Etalonnage de la vidéo



Lorsque le carré rouge est apparent, utilisez les boutons "In" et "out" (ou respectivement les touches i et o) pour sélectionner une zone à supprimer. La zone apparaît en rouge.



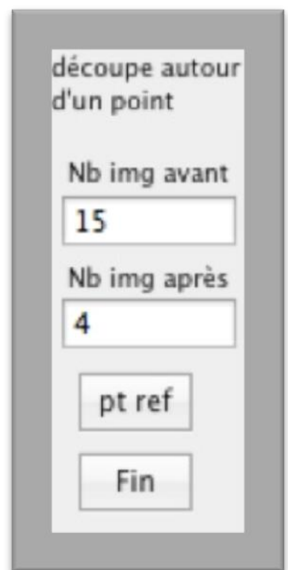
"del" (ou le bouton suppression du clavier) effaceront la zone.

Un fois la séquence découpée à souhait, cliquer sur le bouton "save" et enregistrez le au format désiré comme vu précédemment

Vous aurez alors le choix d'utiliser directement cette vidéo coupée ou refaire d'autres élagages.

Enfin vous avez la possibilité de récupérer, à partir de l'image affichée, un nombre d'images avant et après. Un exemple : vous avez pris une séquence en tir à l'arc de 3 flèches tirées. Vous souhaitez couper votre vidéo afin que ces séquences de 3 flèches comportent toutes au même nombre d'images à partir de l'éjection de la flèche. Je voudrais par exemple avoir 15 images avant le lâché de la corde et 4 images après, ceci pour mes 3 tirs. J'aurais donc une séquence comprenant 3 fois 19 images, toutes en fonction de mon lâché de corde.

Pour cela, je modifie si nécessaire dans les champs respectifs les nombres d'images désiré avant et après



puis je place ma séquence à l'image précise où la corde la lâchée, ceci pour le 1er tir. Je clique sur "pt ref" (ou la touche a). Je renouvelle l'opération pour le 2e tir puis le 3e. Dès que j'ai fini, je clique sur "fin" (touche e) pour effacer tout ce qu'il y a après ma dernière zone.

Je peux alors enregistrer ma nouvelle séquence qui correspond à 3 tirs successifs dotés du même nombre d'images par rapport à mon lâché de corde.

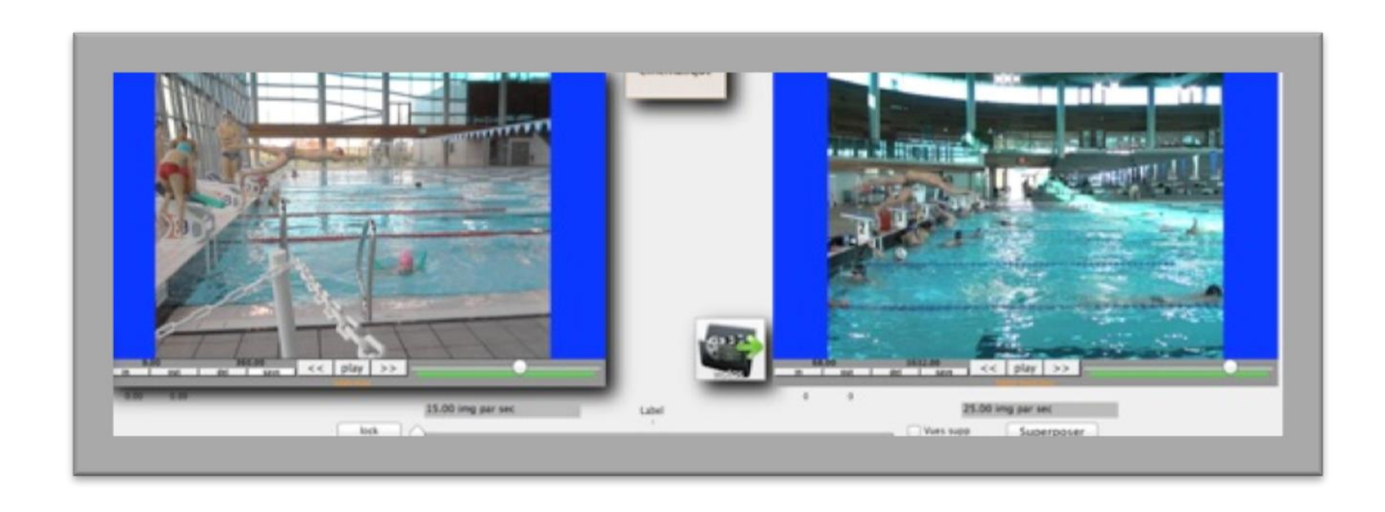
Superposition des vidéos

Toujours dans la même page, importez une 2e vidéo dans le cadre de droite en bas. Vous pouvez utiliser la 2e vidéo avec les mêmes touches que pour la 1ere à condition de la sélectionner en cliquant dessus et donc, faire apparaitre le petit carré rouge.

J'utilise le grand slider en bas pour faire avancer ou reculer les 2 vidéos

En cliquant sur "superposer" vous obtiendrez la superposition sur le cadre de gauche, vidéo que vous pouvez enregistrer comme d'habitude. Appuyez sur "Normal" pour revenir à l'état normal.

Vous pouvez également faire une superposition par rapport à un point précis. Je souhaite par exemple comparer 2 vidéos de plongeon. Je vais donc caler mes 2 vidéos à l'instant ou le nageur quitte le plot. Je clique alors sur "lock" puis à nouveau "superposer". J'utilise le slider de la même façon.



Parfois, la caméra n'a pas été placée au même endroit. Les 2 nageurs ne sont donc pas l'un sur l'autre. Pour remédier à cela, cliquez sur la boite à cocher "vue supp" puis utilisez le slider. En haut à droite vous pourrez déplacer vos 2 vidéos à votre guise en les faisant glisser à votre guise.

Ceci est très pratique également pour coupler 2 vidéos : une vue aérienne et une vue sous-marine.



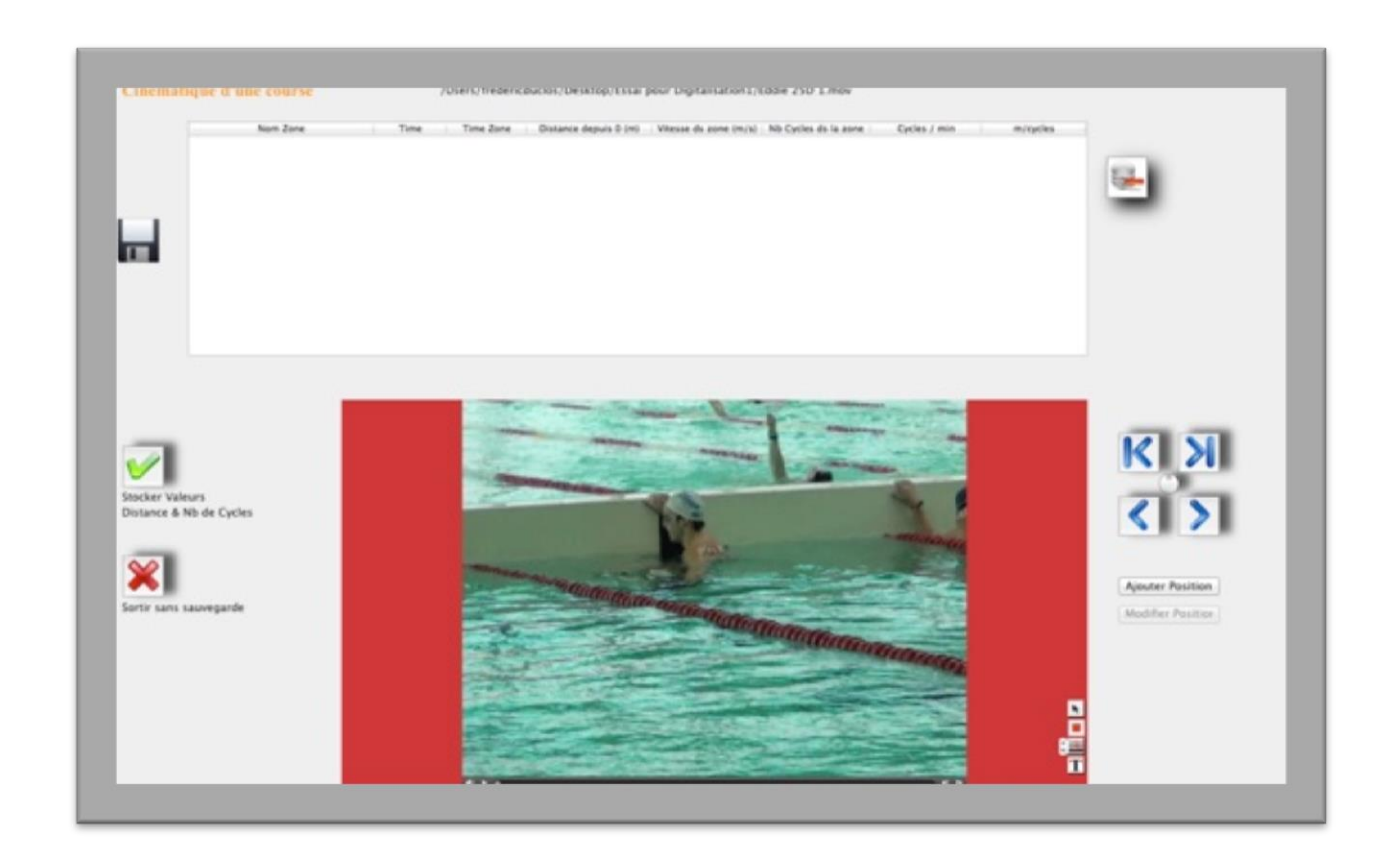
Vous pouvez régler l'opacité de la vidéo 2 avec le slider vertical qui vient d'apparaître. Le bouton cible permet le replacement initial des 2 vidéos et vous pouvez avec le 3e bouton enregistrer votre résultat. Cette action est un peu plus longue que la précédente. Attendez en suivant le mouvement automatique du slider.

Etude Cinématique d'une course

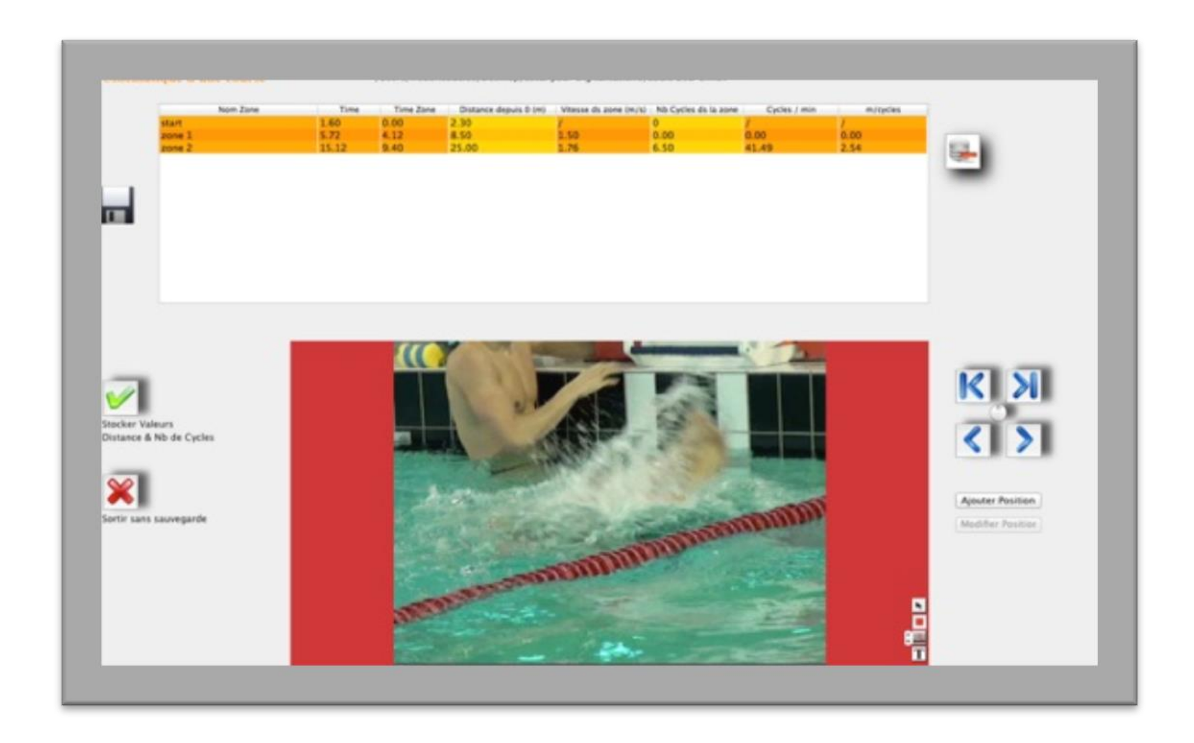
Toujours sur la même page, lorsque vous importez une vidéo sur le cadre vidéo de gauche, il apparaît un nouveau bouton "cinématique":



Apparait alors la page suivante :



Déplacer le curseur de la vidéo pour définir le début de la zone à étudier (start) puis appuyer sur le bouton "Ajout position" ou double cliquez sur la vidéo. Faite de même pour la fin de la zone suivante (zone1), pour la fin de la zone 2 et ainsi de suite. Vous obtiendrez l'exemple suivant :



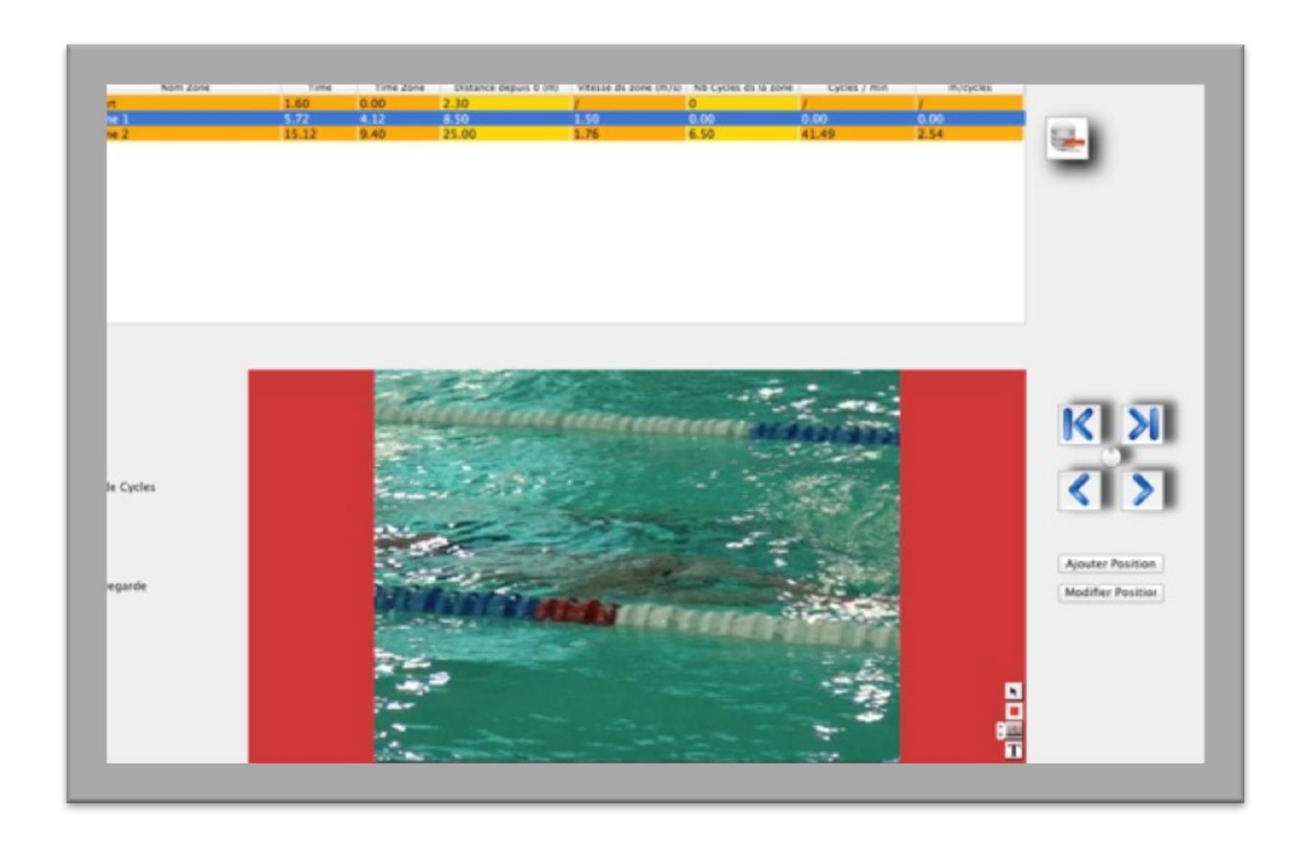
Ainsi, dans cet exemple, la ligne "start" correspond au moment où le nageur quitte le mur, c'est à dire au temps 1.60s de la vidéo et donc le temps 0.00s est par attribué pour signifier que l'étude commence ici. Vous avez la possibilité de modifier la distance. En effet, normalement la distance est égale à 0 mais dans certain cas, ce n'est pas vrai. En natation, lorsque le nageur pousse au mur, il est allongé et donc ses mains vont parcourir non pas 25m (dans ce cas d'étude) mais 25m moins sa taille allongée, ici 2.30m.

La zone 1 est située à 5.72s dans la vidéo et dure 4,12s (5.72 - 1.60) et finie à 8,5 m (du mur à la zone1, dans cet exemple : du mur à la main qui démarre l'action, lors de la coulée). Sa vitesse sur cette distance est de 1,5m/s. Les cycles n'ont pas de valeur puisqu'il n'y a pas de mouvement de bras pendant la coulée.

La zone 2 est située à 15,12s et dure 9,40s et finie à 25m du mur. La vitesse du nageur est alors de 1.76 m/s. Le nombre de cycles est compté en regardant la vidéo, et ici correspond à 6,5, ce qui, par calcul donne une fréquence de 41,49 cycles/minute et une amplitude de 2.54 m / cycle. Cette amplitude peut être confrontée à l'amplitude théorique pour vérifier l'efficacité : en effet, si le nageur à un bras de 80 cm, il devrait réaliser 3.20 m (2 x

80cm x 2 bras pour les nages alternatives) par cycle. Dans cet exemple, il a dérapé de 3.20 - 2.54 = 66 cm par cycle.

Pour modifier la position (le time) ou la distance ou la fréquence, il suffit de cliquer sur la ligne correspondante pour obtenir de nouveaux boutons : la vidéo se place directement au time que vous venez de définir. La ligne choisie est donc en bleu.



Vous pouvez ainsi réajuster la position du nageur avec le slider de la vidéo ou avec les boutons sur la droite puis cliquer sur le bouton "modifier position".

Pour rentrer les valeurs de distances parcourues et de cycles, cliquez sur les

cellules correspondantes. En fait, les colonnes orange-clair sont modifiables.

 Pour supprimer des zones.

Vous pouvez également utiliser les boutons de dessin comme d'habitude (attention à bien faire attention que le bouton flèche est rose : voir précédemment)

En validant  pour enregistrez ces valeurs saisies qui deviendront des valeurs par défaut pour les prochaines saisies.

 permet faire une sauvegarde de la page.

Définition de l'échelle et des paramètres



Ce bouton permet d'accéder soit au menu Paramètres

d'échelle:



Le principe est le suivant : le but est de convertir des pixels en mètres. On va donc cliquer sur les 2 extrémités d'un objet et informer sa taille réelle en mètres. Exemple ici : la ligne rouge mesure 5m. Donc le 1er clic va se faire sur une extrémité de cette ligne et le 2e clic, sur l'autre. A gauche s'affiche les coordonnées en pixels du point cliqué. En rouge, c'est celui qui va être modifié par votre clic.

Il suffit ensuite de renseigner le rectangle Distance en mètres. Le rapport est ici à titre informatif. Il correspond au rapport entre pixel et mètre.

Vous pouvez changer l'image affichée (c'est la 1ere image par défaut) si vous ne trouviez pas d'objet avec une distance précise sur cette image. Il y en a surement sur d'autres images. Pour cela vous pouvez, soit utiliser le slider, soit utiliser sur le trackball les 2 doigts.

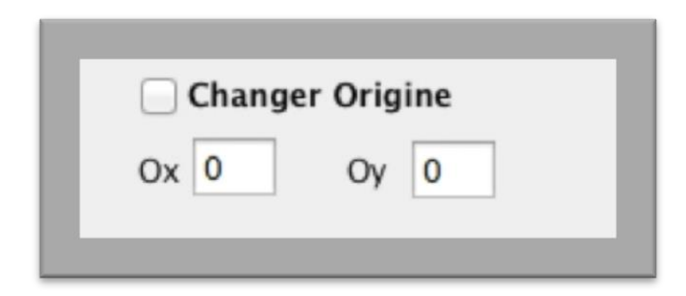
Les 3 champs Nb de lissage Vitesse, coordination, dérapage servent à indiquer aux graphes la « quantité » de lissage pour les courbes. Ce système permet de moyenner les valeurs cliquer et ainsi estomper les erreurs de clic. 3 est une valeur correcte qui ne va pas non plus trop moyenner avec le risque d'effacer des changements de valeurs cruciaux.

Le sens trigonométrique permet de gérer le graphe des coordinations

segmentaires : soit l’affichage se fait de -180 à 0 et 0 à +180°, soit de 0 à 360°. Cela est intéressant pour une meilleure compréhension du graphe.

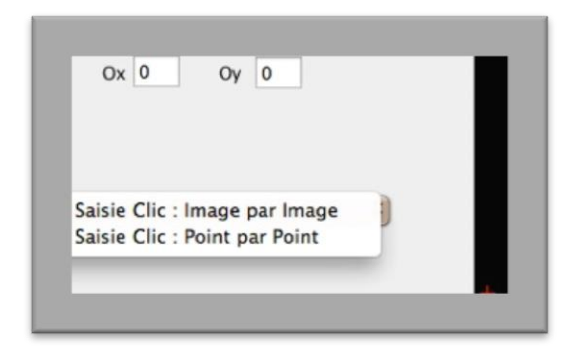
Le sens de déplacement aura un sens également de facilitation de lecture. Par exemple ici, le déplacement de notre centre d’intérêt est de gauche à droite, ce qui suppose que tout ce qui ira de droite à gauche prendra une valeur négative.

Vous pouvez également modifier l'origine des saisies. Habituellement, l'origine est en bas à gauche mais vous pouvez définir une origine à la surface de l'eau sous le plot. Pour cela vous cochez la boite à cocher "changer origine" et cliquez sur le point voulu. Vous décochez ensuite ce choix pour revenir à l'action précédente. Vous pouvez saisir manuellement les valeurs de l'origine en remplissant les champs correspondants.

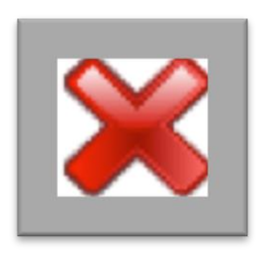


Enfin, vous pouvez définir votre type de saisie : je clique sur le coude de l'image 0 puis sur le coude de l'image 1 etc... puis ensuite, même chose pour l'épaule. Il s'agit ici d'une saisie "image par image".

Je peux choisir aussi de cliquer sur coude puis épaule de l'image0, coude puis épaule de l'image 1.... Il s'agit d'une saisie "point par point".



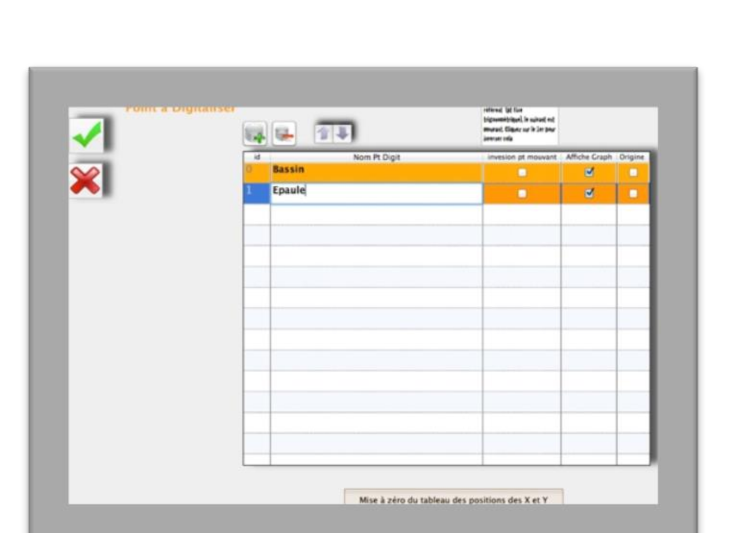
Parfois, il est plus rapide d'utiliser l'une ou l'autre de ces méthodes de saisie

Comme pour toutes les pages,  sert à sortir et revenir à la page d’accueil sans sauvegarder.

En cas de validation, vos paramètres sont enregistrés et donc, si votre prochaine digitalisation concerne les mêmes paramètres (même distances de caméra par exemple), cette étape peut être sautée.

Définition des points à digitaliser

Voici la page que vous obtiendrez après avoir choisi  dans le menu principal



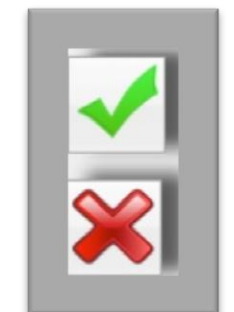
Vous pouvez supprimer ou rajouter des points avec les boutons . Pour modifier la nomenclature du point : double cliquez sur la cellule comprenant le nom du point puis modifier le texte.

La boite à cocher "inversion pt mouvant" permet au graphe des coordinations de préciser l'origine du segment. Dans cet exemple, le couple bassin épaule peut correspondre au tronc. L'ordre du tableau est bassin puis épaule donc, "Non Coché" devant bassin signifie que le point bassin est référent, donc fixe, et c'est l'épaule qui tourne autour du bassin. Si

devant le point bassin, nous avions coché la case, cela voulait dire que c'est cette fois ci l'épaule qui est fixe et donc c'est le bassin qui tourne autour de l'épaule. Cela change donc la valeur des angles. Encore une fois, ceci sert à faciliter la compréhension des graphes : on comprend mieux par exemple qu'un genoux se déplace autour d'un bassin plutôt que l'inverse.

La boite à cocher "Afficher Graph" permet de prendre en compte ou non le point pour le graphe

La boite à cocher "Origine" permet de définir un point qui servira de référence en cas d'une caméra qui bouge. Par exemple, en avion, les prises de vues sont sur le bateau moteur qui suit l'aviron. Le mouvement de la caméra n'est donc pas fixe en raison des vagues. Il suffit alors de définir un point de référence (un arbre sur la berge par exemple) et de le digitaliser avec les autres points. En le sélectionnant comme "Origine", les valeurs des autres points seront calculées en fonction de ce point. C'est comme si la caméra devenait fixe!

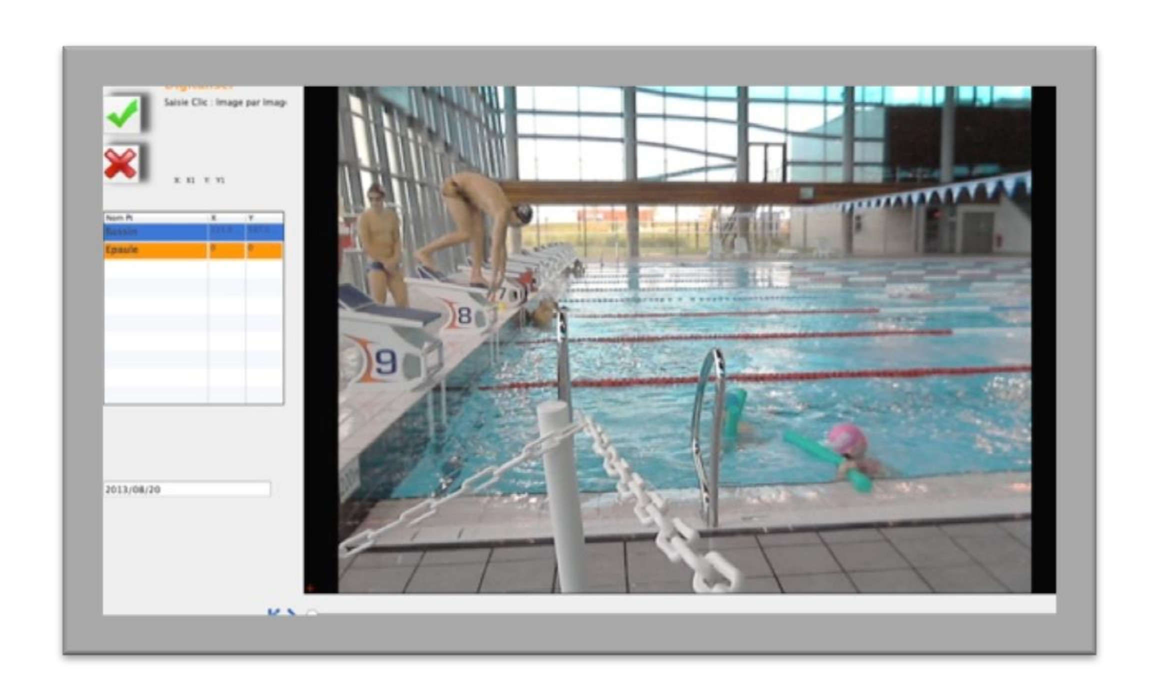


Sert bien sûr à valider votre changement ou non. En cas de validation, vos paramètres sont enregistrés et donc, si votre prochaine digitalisation concerne les mêmes points, cette étape peut être sautée.

La mise à zéro des X et Y permet en cas de digitalisation déjà réalisée de remettre tous les coordonnées des clics à 0 pour refaire une digitalisation, qui semble erronée par exemple.

Digitaliser

Le menu  permet de digitaliser, c'est à dire cliquer sur les points que vous venez de sélectionner. Voici la fenêtre attendue :



Le principe est de cliquer (dans cet exemple) sur la position du bassin. A chaque clic, l'image suivante est affichée. Vous pouvez changer l'image avec le slider en dessous, avec les flèches (1 à 1 en avant ou en arrière ou aller à la fin / aller au début) ou en

faisant glisser avec le doigt l’image vers le haut ou le bas.

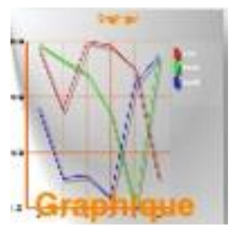
X1 et Y1 sont les valeurs en pixels qui seront converties en mètre pour le graphe.

Pour changer de point à digitaliser, cliquez sur le point de votre choix dans le tableau. Le point prêt à être digitalisé est surligné. Lors de cette sélection, l'image 0 est automatiquement sélectionnée.

Vous pouvez revenir sur un clic que vous jugé mal fait en revenant une image en arrière et éventuellement sélectionner le point voulu. Les valeurs que vous avez cliquées s ‘affichent. Cliquez sur le bon endroit pour modifier ces valeurs

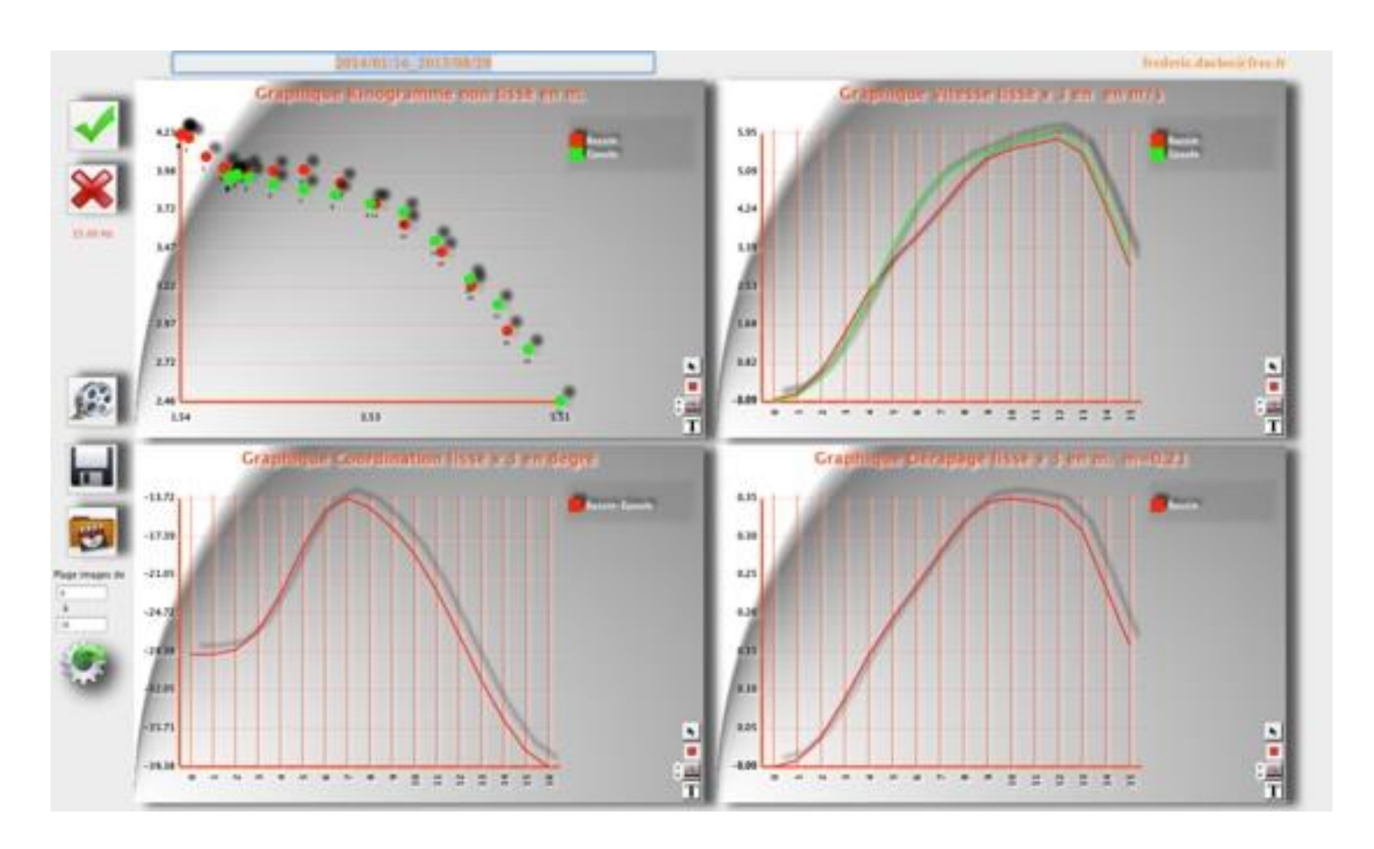
Tous les points sont cliqués, vous pouvez alors enregistrer votre travail ou annuler.

Les graphes

Le bouton 

permet d’accéder aux graphes. La page est la

suivante :



4 graphes se présentent : en haut à gauche un kinogramme. En bas à gauche, le graphe des positions segmentaires, en haut à droite, les vitesses des points définis, en bas à droite, le dérapage. Ce dernier graphe n'est intéressant que pour les sports d'eau ou l'appui est fuyant. En Aviron par exemple, la pelle devrait théoriquement ne pas bouger sur l'axe des x. Une mauvaise accélération par exemple la fait « déraper ». Ce graphe permet de mesure la quantité de ce dérapage.

Sur l'axe des x, (sauf kinogramme) ne numéro des images apparaît, c'est à dire que les variations des courbes sont en fonction du temps donc, du numéro des images. Pour voir l'image correspondante, il suffit de cliquer sur  et la vidéo s'affiche. Avec

les 2 doigts sur le trackBall ou en utilisant des 2 boutons flèches qui viennent d'apparaître à gauche ou en utilisant les flèches du clavier, allez jusqu'à l'image qui vous intéresse. Rappuyez sur l'icône et vous ferez apparaître à nouveau le Kinogramme.

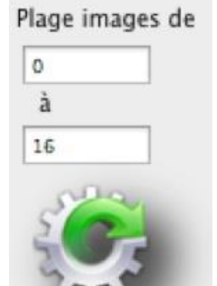
Vous avez la possibilité de cacher des graphes. Il suffit de double cliquer dessus. Un double clique sur la même zone le fait réapparaitre.

Vous pouvez également changer les valeurs maximum et minimum des Y de chaque graphe en double cliquant sur ces valeurs maximales et/ou minimales (en haut à gauche ou en bas à gauche du graphe) pour les modifier. A chaque demande de modification apparaît la valeur initiale que vous pouvez ou non modifier.

Les icônes permettent d'enregistrer votre graphe soit seul, soit dans un dossier dans lequel sera inséré le graphe et la vidéo.

Vous pouvez changer le titre pour l'enregistrement mais ce changement ne sera pas enregistré pour le cas ou vous désireriez sauvegarder cette même planche avec d'autres graphes cachés ou valeurs des bornes en ordonnées différentes.

Subtilité : si vous n'avez cliqué que sur un seul point (centre de gravité par exemple), le graphe des coordination ne peut être fonctionnel. Il est alors remplacé par un graphe montrant l'angle que fait la trajectoire, point par point (angle du segment de n à n+1).



permet de sélectionner une plage d'images. Valider votre modification avec le bouton flèche verte sur une roue crantée.

Comme pour les vidéos vous pouvez utiliser les boutons de dessin et de commentaires.

Subtilité pour ces boutons : ils sont actifs si on clique sur le bouton flèche qui devient de couleur rose. La flèche a disparue et est remplacée par un trait.

Pour le bouton texte : un seul texte ne peut apparaître (sinon, on ne voit plus rien !). Pour écrire (vérifier si le bouton trait est bien rose), cliquez à l'intérieur du cadre en haut à gauche, la bulle en bas à droite devient bleue. Pour le déplacer, cliquez au milieu (la bulle en bas à droite devient rose) et le faire glisser. Pour l'agrandir, cliquez à l'intérieur en bas à droite. La bulle en bas à droite reste rose donc vous pouvez étirer le cadre.

Archiver



Ces icônes permettent d'archiver (exporter) ou d'importer un travail déjà réalisé. Il est important de savoir que si vous quittez l'application alors que vous n'avez pas fini votre saisie, vous la retrouverez en l'état à condition, bien sûr, d'avoir cliquez sur les boutons verts de validation des pages sur lesquelles vous travaillez. L'archivage à l'avantage de récupérer un travail déjà fait.

Son principe est de créer un dossier nommé par défaut par une date et le nom de la vidéo. Dans ce dossier seront insérés la vidéo et 3 fichiers .txt . Ils comprennent les paramètres, les points à digitaliser, et les valeurs des clics pour chaque point. Pour ce dernier, il y a 2 "colonnes", celle des X et celle des Y. S'il y a 2 points prévus à la digitalisation, alors l'ordre pour les lignes est le suivant : point1 de l'image 1, point 2 de l'image 1, point1 de l'image 2, point 2 de l'image 2, point1 de l'image 3, point 2 de l'image 3...

Vous pouvez récupérer ce fichier sous une feuille de calcul.